

CONECTIVIDAD EN DATA CENTERS

Del cable submarino al servidor y la aplicación

Ingeniería, medición y operación

MMR • Cross connect • Fibra óptica
Transporte óptico • Redes • Servicios

Dr. Abraham Valdebenito C.

83 capítulos • Atlas técnico • Laboratorios y casos prácticos
Edición digital revisada • 2026

Créditos y datos de edición

Conectividad en data centers
Del cable submarino al servidor y la aplicación

Autor y responsable de la edición: Dr. Abraham Valdebenito C.
Edición digital de autor. Santiago de Chile, noviembre de 2026.

Identificación de esta entrega: contenido FARO-R5; revisión visual R7; datos didácticos FARO-R2. El libro, el atlas y el kit comparten esta identificación. La revisión de contenido incorpora las correcciones de estructura, estilo, navegación y accesibilidad de esta edición.

Textos, ejemplos, diagramas y portada desarrollados con asistencia de inteligencia artificial y revisión editorial asistida. Los casos de Campus Faro son didácticos. La edición no atribuye pruebas de campo, firmas ni revisión técnica independiente a personas que no las hayan realizado.

Evidencia pública: Kovacs IB, Faruk M, Wonfor A y Savory S. Cambridge Apollo, DOI 10.17863/CAM.108811, licencia CC BY 4.0. La figura 42.3 conserva un recorte de la página 1 del informe original; la figura 43.3 representa eventos seleccionados. Los autores, procedencia y transformaciones se detallan junto a las figuras y en el kit.

Las marcas, especificaciones y publicaciones de terceros conservan su titularidad y se identifican en la bibliografía. La consulta de una fuente no implica aval del fabricante. Los requisitos de cada proyecto se adoptan con su edición, alcance y responsables.

Esta entrega está preparada para lectura digital en formato Letter. La producción de una edición impresa requiere el formato, papel, encuadernación y plantilla de la imprenta; el kit incluye la ficha de preparación correspondiente.

Kit práctico de esta edición: acceso de entrega de Campus Faro

El acceso de entrega requiere autorización. El kit incluye el libro en la carpeta libro/, el atlas, los formularios y los datos. Para otra distribución se entrega el mismo paquete identificado FARO-R5/R7, conservando sus archivos y control de integridad.

Presentación y uso del libro

La conectividad de un data center se completa cuando el cliente puede utilizar la aplicación prevista y existe una organización capaz de mantenerla. Para llegar a ese resultado es necesario relacionar sistemas submarinos, transporte terrestre, entradas al campus, salas de interconexión, cableado, equipos y servicios. Cada tramo tiene condiciones de diseño, responsables y evidencias de aceptación.

Este libro sigue ese recorrido desde el cable submarino hasta el servidor y la aplicación. Está dirigido a quienes planifican, diseñan, construyen, contratan, prueban y operan infraestructura digital. Explica cómo traducir una necesidad en una entrega identificable, cómo comprobar el desempeño y qué debe conservarse para intervenir o recuperar el servicio.

Las primeras partes presentan requisitos, ecosistemas y responsabilidades. Después se estudian el sistema submarino, el transporte terrestre y la distribución dentro del edificio. Los capítulos de equipos y protocolos enlazan esos recursos físicos con los servicios. Las partes de medición, aceptación y desempeño muestran qué permite afirmar cada resultado y qué evidencia debe solicitarse a los carriers.

La lectura continúa con resiliencia, seguridad, operación e ingeniería comercial. Los cinco casos finales reúnen el recorrido internacional, dos carriers y dos MMR, un campus con varios edificios, una plataforma de almacenamiento e IA y una migración con incidente y recuperación. Los anexos ofrecen vocabulario, dibujos, cálculos, fichas de medición, protocolos y registros para aplicar el contenido a un proyecto.

Puede leerse el libro en orden o consultarse por problema. Para revisar una oferta, conviene comenzar por requisitos, demarcaciones y aceptación del producto. Para diagnosticar una transferencia, deben relacionarse las pruebas del medio y del transporte con los hosts y la aplicación. Para evaluar continuidad, se necesita seguir las dependencias y comprobar la capacidad disponible en el escenario de falla concreto.

Los casos identificados como ficticios y sus cifras son didácticos. Los límites de un proyecto se fijan con el diseño, las especificaciones del sistema y el contrato aplicable. Las referencias normativas conservan edición y alcance; la edición nueva de un documento no cambia por sí sola un acuerdo existente. La inspección, la medición y una certificación responden preguntas distintas.

Las tasas se expresan de forma uniforme en Gb/s, Mb/s o Tb/s. GB, MB y TB se usan como unidades decimales cuando así lo declara el ejemplo; MiB y GiB indican base binaria. RTT y retardo unidireccional, potencia y pérdida, throughput y datos útiles mantienen sus definiciones en cada ensayo. Las referencias entre corchetes remiten a la bibliografía unificada al final del libro.

El índice utiliza campos de Word y enlaces a partes, capítulos y anexos. Las páginas se recalculan al actualizar campos. Las figuras y tablas tienen contadores por capítulo y un registro de referencias: una reorganización debe actualizar también llamadas y listas. El kit incluye un validador para detectar números repetidos, saltos y destinos inexistentes antes de distribuir una nueva edición.

P.1 Ampliación práctica y recorrido de lectura

Los capítulos 29–38 desarrollan equipos y protocolos; los capítulos 39–61 incluyen 23 laboratorios de interpretación y preparación de pruebas. Campus Faro relaciona los componentes con la decisión de aceptación. Los árboles de diagnóstico y la evidencia pública permiten contrastar resultados y planificar la siguiente comprobación.

El caso es ficticio. Las curvas y las capturas del taller son simuladas, no mediciones de carriers ni certificados de instalación. Se conservan resultados iniciales y finales, incluidas pérdidas IP sin repetición favorable y riesgos compartidos pendientes. Su propósito es aprender a tomar y documentar decisiones.

El anexo H contiene orientaciones de respuesta a las 401 preguntas. Los anexos C–K incorporan ejemplos completos y el kit práctico aporta formularios editables, hojas de cálculo, datos y un navegador local. Los límites numéricos de los ejercicios pertenecen al proyecto didáctico; cada aplicación real debe adoptar sus referencias, configuración y criterios.

Para estudiar una entrega completa, leer los capítulos 19–26, continuar con los procedimientos 39–61 y cerrar con los casos 79–83 y las actas. El índice de figuras, el de tablas y el índice analítico permiten consultar una prueba o recurso concreto. La revisión técnica por especialistas externos queda pendiente y dispone de una lista de comprobación en el kit.

P.2 Campus Faro al comenzar la lectura

Campus Faro es el proyecto conductor ficticio del libro. Sus datos FARO-R2 se conservan en la edición de contenido FARO-R5 y la revisión visual R7 para comparar cálculos y resultados. Los nuevos casos documentales de inventario, automatización e ingeniería se identifican por separado. El capítulo 79 reúne el expediente y las decisiones de cierre.

Tabla P.1. Campus Faro al comenzar la lectura

Objeto del caso	Dato de referencia	Dónde se desarrolla
Campus	Tres edificios; 24 racks por edificio; dominios A y B	Capítulos 19 a 28 y 81
MMR y accesos	MMR-A con Alfa y MMR-B con Beta	Capítulos 20 21 30 y 80
Fibras	Seis troncales de 144; 864 instaladas; 576 de demanda; 288 libres	Capítulos 25 27 46 y 81
Servicio	100 Gb/s físicos y CIR 40 Gb/s por acceso; demanda total 32 Gb/s	Capítulos 34 49 52 y 80
Rutas internacionales	A 6500 km ópticos y B 7500 km ópticos como supuestos	Capítulos 7 a 18 53 y 79
Entrega óptica	Límite 2,20 dB; U adoptada 0,12 dB; 3456 resultados OLTS	Capítulos 39 a 47
Aplicación e IA	128 GPU; colectivas y almacenamiento internos	Capítulos 32 33 60 61 y 82
Pendientes que se conservan	Pérdida IP A bajo carga; P-17; PEN-02; recuperación de identidad	Capítulos 55 62 64 y 79 a 83

La historia comienza con un cliente que necesita transportar y utilizar 32 Gb/s incluso al perder un acceso. Comercial confirma destinos y compromisos; ingeniería identifica rutas, espacios y equipos; construcción registra lo ejecutado. El equipo de pruebas encuentra defectos ópticos y problemas de

coexistencia Ethernet, los corrige y conserva ambos estados. La evidencia IP y de diversidad todavía impide una aceptación total. El lector toma esas decisiones con los mismos identificadores a lo largo del recorrido.

P.3 Rutas de estudio y profundidad

Cada capítulo comienza con un objetivo, términos esenciales y una entrega que el lector debe poder preparar. Las preguntas del anexo H conservan su numeración. Los laboratorios de los capítulos 39–61 añaden desafíos con orientación de respuesta y un modo analítico ejecutable sobre los archivos del kit.

Tabla P.2. Rutas de estudio y profundidad

Nivel	Actividad	Evidencia de aprendizaje
Fundamentos	Leer el recorrido y explicar funciones y fronteras	Dibujo o ficha sin confundir objetos y unidades
Aplicación	Recalcular el ejemplo y completar un registro	Archivo con entradas método resultado y decisión
Diagnóstico	Resolver una anomalía y proponer una prueba que discrimine causas	Hipótesis refutable límites y acción siguiente
Ejecución supervisada	Montar medir y cerrar una práctica física o virtual	Observación directa y archivos nativos del montaje

Para equipos y red, estudiar 29–38 con sus casos numéricos y configuraciones. Para medición, seguir 39–61 y ejecutar el modo de análisis antes de preparar el montaje físico. Para dirección del proyecto, usar 1–5, 16–20 y 73–80 junto con las actas. Los árboles de diagnóstico de 41, 43, 50, 57, 59 y 63 remiten a comprobaciones específicas; no sustituyen los procedimientos del sistema.

P.4 Rúbrica para interpretar y ejecutar

La rúbrica valora cuatro dimensiones con 0, 1 o 2 puntos: ausente o incorrecto, parcial, o suficiente para repetir y evaluar la decisión. Se requiere al menos 6/8 y ninguna dimensión en cero. Es un criterio docente; la puntuación no certifica competencia profesional ni autoriza intervenciones.

Tabla P.3. Rúbrica para interpretar y ejecutar

Dimensión	Qué debe comprobar el evaluador	Error que obliga a corregir
Preparación	Objeto planos requisitos instrumentos y condiciones coherentes	Medir otro alcance o utilizar un montaje inválido
Ejecución	Pasos configuración controles y datos completos	Perder cobertura o descartar datos sin justificar
Interpretación	Unidades población incertidumbre y regla de decisión	Convertir ausencia o incumplimiento en conformidad
Entrega	Archivos trazables conclusión límites y acción siguiente	No poder relacionar el resultado con el activo y la versión

En campo se añaden comprobaciones de competencia, autorización y condiciones del entorno propias de la organización. La evaluación observa tanto la decisión de avanzar como la de detenerse ante un dato inválido. Un cálculo correcto no compensa un procedimiento que mide otro objeto. El evaluador conserva observación, corrección y versión; el libro no contiene aprobaciones firmadas por especialistas externos.

P.5 Cómo reconocer la procedencia de la evidencia

El material utiliza tres procedencias identificadas: modelos y datos simulados de Faro; evidencia pública publicada por sus autores; y resultados que el lector genere en su propio laboratorio. No se mezclan para cerrar un requisito del campus ficticio. Una captura pública enseña a interpretar un caso real, pero no aporta una medición de la instalación del lector.

El ejemplo OTDR de Cambridge se conserva con autores, DOI, fecha y licencia CC BY 4.0. Los casos PMD de EXFO y los estudios de RIPE Labs se comentan con sus referencias y límites. Las configuraciones Linux, FRR e iperf3 son material de laboratorio y exigen comprobar entorno y versión antes de ejecutarlas. El analizador de datos del kit utiliza Python estándar y se entrega con resultados de referencia reproducibles.

P.6 Convenciones de lectura y edición

La exposición emplea el presente y el plural pedagógico para guiar la lectura. Los pasos de procedimiento utilizan verbos de acción. Debe, conviene y puede distinguen requisito, recomendación y posibilidad según la fuente y el contexto; una recomendación del ejemplo no se convierte en obligación universal.

Data center y cross connect se mantienen como vocabulario especializado de uso frecuente. Cross connect utiliza el femenino por referencia a conexión; casete óptico es la forma de casa en la prosa. Los títulos originales, marcas, comandos e identificadores conservan su escritura. Los términos ingleses menos habituales se presentan con equivalente y señal tipográfica en su primera definición.

Las siglas mantienen su grafía técnica y el glosario remite al capítulo pertinente. Una métrica conserva capa, población y punto de observación. Se usa coma decimal en la prosa española; los datos, comandos y archivos originales mantienen el formato que permite interpretarlos y reproducirlos.

Las leyendas completas conservan alcance y procedencia; los índices usan títulos breves. Las descripciones alternativas explican la relación representada en cada dibujo. Los datos simulados, la evidencia pública y las adquisiciones propias permanecen identificados durante toda la lectura.

Índice

Créditos y datos de edición **2**
Presentación y uso del libro **3**
Índice de figuras **10**
Índice de tablas **14**
Parte 1 La conectividad como ventaja competitiva **20**
Capítulo 1 El data center dentro de las redes digitales 20
Capítulo 2 Requisitos de los clientes y sus aplicaciones 27
Capítulo 3 Ecosistemas de operadores e interconexión 35
Capítulo 4 Dirección y gobierno de la conectividad 43
Capítulo 5 Propuesta de valor e indicadores del negocio 51
Parte 2 Del cable submarino a la estación de amarre **59**
Capítulo 6 Historia de la conectividad submarina 59
Capítulo 7 Anatomía del sistema submarino 67
Capítulo 8 Aterrizaje y estación de amarre 75
Capítulo 9 Transmisión óptica y límites del sistema 83
Capítulo 10 Cables abiertos y evolución de capacidad 92
Capítulo 11 Supervisión y pruebas submarinas 101
Capítulo 12 Mantenimiento y reparación submarina 107
Capítulo 13 Sensado y aplicaciones emergentes 112
Parte 3 Transporte terrestre y selección del emplazamiento **118**
Capítulo 14 Backhaul desde el aterrizaje hasta el campus 118
Capítulo 15 Redes metropolitanas y de larga distancia 124
Capítulo 16 Diversidad física y riesgos compartidos 129
Capítulo 17 Permisos y construcción de planta externa 134
Capítulo 18 Selección estratégica del sitio 140
Parte 4 Espacios y distribución dentro del data center **146**
Capítulo 19 Arquitectura de los espacios de telecomunicaciones 146
Capítulo 20 Diseño y funcionamiento de las MMR 152
Capítulo 21 Interconexión entre MMR y edificios 159
Capítulo 22 Distribución hacia salas blancas 163
Capítulo 23 Llegada al rack y puertos de entrega 167
Parte 5 Cableado y cross connects **172**
Capítulo 24 Selección de fibras y cableado de cobre 172
Capítulo 25 Conectores y sistemas de alta densidad 176
Capítulo 26 Ciclo de vida de una cross connect 181
Capítulo 27 Administración de fibras y puertos 185
Capítulo 28 Ampliaciones y migraciones del cableado 189
Parte 6 Equipos del carrier y del cliente **193**
Capítulo 29 Equipos ópticos y transceptores 193
Capítulo 30 Demarcación y borde de red 199

Capítulo 31 Arquitecturas de switches 204
Capítulo 32 Servidores y almacenamiento 209
Capítulo 33 Equipamiento de redes para IA 215
Parte 7 Protocolos y servicios de interconexión 220
Capítulo 34 Ethernet y direccionamiento IP 220
Capítulo 35 Underlay y overlay 225
Capítulo 36 BGP y ecosistema de internet 230
Capítulo 37 Nube y conexión entre data centers 235
Capítulo 38 Servicios auxiliares y entrega de aplicaciones 240
Parte 8 Medición y certificación del medio físico 245
Capítulo 39 Metrología y planificación de las pruebas 245
Capítulo 40 Inspección y verificación inicial de fibra 251
Capítulo 41 Potencia y pérdidas de inserción 257
Capítulo 42 OTDR y configuración de la medición 264
Capítulo 43 Análisis bidireccional y reflectancia 271
Capítulo 44 Dispersión cromática 278
Capítulo 45 Dispersión por modo de polarización 284
Capítulo 46 Certificación de enlaces internos 290
Capítulo 47 Caracterización de fibra exterior 296
Capítulo 48 Certificación del cableado de cobre 302
Parte 9 Pruebas de transporte y aceptación de carriers 308
Capítulo 49 Plan de aceptación por servicio 308
Capítulo 50 Transmisión óptica y márgenes 314
Capítulo 51 OTN y supervisión entre capas 320
Capítulo 52 Activación de servicios Ethernet 325
Capítulo 53 Pruebas submarinas y de backhaul 330
Capítulo 54 Interoperabilidad entre proveedores 335
Capítulo 55 Expediente y recepción contractual 340
Parte 10 Desempeño extremo a extremo 345
Capítulo 56 Latencia y variación del retardo 345
Capítulo 57 Throughput y goodput 350
Capítulo 58 Congestión y calidad de servicio 356
Capítulo 59 Instrumentación y atribución de resultados 361
Capítulo 60 Pruebas de aplicaciones y experiencia del usuario 366
Capítulo 61 Pruebas de redes de IA y almacenamiento 371
Parte 11 Resiliencia y seguridad del servicio completo 376
Capítulo 62 Dominios de falla y amenazas comunes 376
Capítulo 63 Pruebas de redundancia y conmutación 379
Capítulo 64 Continuidad y recuperación de aplicaciones 383
Capítulo 65 Seguridad física y protección en tránsito 386
Capítulo 66 Crisis y reparación con varios operadores 389
Parte 12 Operación y automatización 392
Capítulo 67 Observabilidad y diagnóstico 392

Capítulo 68 DCIM y representación digital de la conectividad 395
Capítulo 69 Gestión fuera de banda y redes del edificio 398
Capítulo 70 Procedimientos y disciplina operativa 401
Capítulo 71 Automatización y control de cambios 404
Capítulo 72 Formación y competencias del personal 407
Parte 13 Ingeniería y gestión comercial del proyecto 410
Capítulo 73 De los requisitos al diseño de detalle 410
Capítulo 74 Construcción y puesta en servicio integrada 413
Capítulo 75 Normas y alcance de las certificaciones 416
Capítulo 76 Contratos y costo total de conectividad 419
Capítulo 77 Incorporación de clientes y control comercial 422
Capítulo 78 Capacidad y sostenibilidad durante el ciclo de vida 425
Parte 14 Casos integrados del océano a la aplicación 428
Capítulo 79 Conexión internacional completa 428
Capítulo 80 Dos carriers y dos MMR 432
Capítulo 81 Campus con varios edificios 436
Capítulo 82 Plataforma de almacenamiento e IA 440
Capítulo 83 Migración incidente y recuperación 444
Anexos y herramientas de trabajo 448
Anexo A Glosario español e inglés y siglas 449
Anexo B Simbología y dibujos del recorrido 453
Anexo C Ficha de requisitos y factibilidad 455
Anexo D Matrices de rutas y responsabilidades 458
Anexo E Inventarios y órdenes de conexión 460
Anexo F Cálculos y dimensionamiento 463
Anexo G Fichas de medición 466
Anexo H Interpretación de pruebas 472
Anexo I Protocolos de aceptación 501
Anexo J Procedimientos operativos 504
Anexo K Expediente de entrega 507
Anexo L Mapa de normas y actualización 510
Anexo M Atlas físico y montajes de prueba 518
Bibliografía y fuentes 537
Índice analítico 555

Índice de figuras

Figura 1.1. Recorridos conceptuales hacia el data center. 22
Figura 2.1. Flujos funcionales de un cliente. 29
Figura 3.1. Relaciones lógicas de interconexión para una red con AS propio. 39
Figura 4.1. Relaciones de coordinación entre funciones. 45
Figura 5.1. Relación entre requisitos, factibilidad, oferta y resultados. 53
Figura 6.1. Caso ficticio de dependencia submarina común. 65
Figura 7.1. Conectividad óptica de un sistema con ramificación. 69
Figura 7.2. Alimentación del sistema submarino desde dos extremos. 70
Figura 7.3. Relaciones funcionales de supervisión. 72
Figura 8.1. Perfil conceptual de un aterrizaje con conducto bajo la costa y unión en BMH. 76
Figura 8.2. Trayectos funcionales de una arquitectura con SLTE en la CLS. 79
Figura 9.1. Constelaciones ideales QPSK y 16QAM. 85
Figura 9.2. Comparación didáctica entre calidad disponible y requisito con provisión. 90
Figura 10.1. Planta sumergida y terminales abiertos sobre pares diferentes. 93
Figura 10.2. Multiplexación en frecuencia y por caminos espaciales. 95
Figura 11.1. Objeto de aceptación, medición y evidencia. 101
Figura 12.1. Secuencias de recuperación del servicio y reparación física. 108
Figura 13.1. Geometrías de observación para sensado de fibra. 112
Figura 14.1. Dos continuaciones terrestres desde una CLS hacia el campus. 119
Figura 15.1. Relación entre servicio, equipos y recursos físicos. 125
Figura 16.1. Riesgo compartido de dos circuitos en un puente. 130
Figura 17.1. Hitos y evidencias de una ruta de planta externa. 136
Figura 18.1. Secuencia de evaluación del sitio. 141
Figura 19.1. Dos dominios de recorrido hacia una sala blanca. 148
Figura 19.2. Dos dominios y tres edificios de Campus Faro. 151
Figura 20.1. Interconexión pasiva dentro de una MMR. 153
Figura 20.2. Elevaciones funcionales de racks de MMR-A y MMR-B. 158
Figura 21.1. Troncales de entrega e interconexión entre MMR. 159
Figura 22.1. Dos distribuciones alternativas sirven zonas de una sala. 163
Figura 23.1. Dos llegadas identificadas al rack. 167
Figura 23.2. Cadena de puertos del acceso A. 170
Figura 24.1. La elección del medio relaciona aplicación, recorrido, entorno y aceptación. 173
Figura 25.1. Ejemplo parcial del mapa de una troncal tipo B de doce fibras. 176
Figura 25.2. Mapa parcial didáctico con inversión de posiciones. 179
Figura 26.1. Estados del ciclo de una cross connect. 181
Figura 27.1. Identidades y relaciones del inventario. 185
Figura 28.1. Preparación del destino y retorno durante una migración. 189

Figura 29.1. Relación entre interfaz cliente, adaptación y canal de línea. 194
Figura 30.1. Entrega mediante un equipo de demarcación y un borde de cliente. 199
Figura 31.1. Ejemplo leaf-spine con dos spines y tres leafs. 204
Figura 31.2. Capacidad de un leaf en tres escenarios del ejemplo. 208
Figura 32.1. Recorrido de datos dentro de los extremos. 209
Figura 32.2. Fronteras de prueba dentro de un extremo y su almacenamiento. 213
Figura 33.1. Dominios funcionales de una plataforma de IA. 215
Figura 34.1. Relación entre infraestructura y servicio lógico. 221
Figura 35.1. Servicio lógico y transporte IP entre túneles. 225
Figura 35.2. Capas de una encapsulación VXLAN del ejercicio. 229
Figura 36.1. Relaciones de alcance exterior de un data center. 230
Figura 37.1. Capas de una conexión con nube o sitio remoto. 235
Figura 38.1. Dependencias de la entrega de aplicaciones. 240
Figura 39.1. Cadena de una decisión de aceptación. 246
Figura 39.2. Decisiones de proyecto para un límite de 2,20 dB y U = 0,12 dB. 249
Figura 40.1. Secuencia inicial de una conexión óptica. 251
Figura 40.2. Caras de conexión representadas de forma esquemática. 254
Figura 41.1. Montaje conceptual para medir pérdida entre planos definidos. 257
Figura 41.2. Contribuciones del presupuesto de la troncal TR-B-E03. 260
Figura 41.3. Pérdida elevada o discordante. 263
Figura 42.1. Bobinas y planos de referencia del montaje OTDR. 264
Figura 42.2. Traza didáctica y detalle de dos eventos. 267
Figura 42.3. Gráfica OTDR del informe público 20231009-149-11. 269
Figura 43.1. Pérdida de un mismo evento en ambos sentidos. 271
Figura 43.2. Resultados bidireccionales simulados de dos eventos emparejados. 274
Figura 43.3. Tres eventos seleccionados de un informe OTDR real publicado. 275
Figura 43.4. Evento OTDR con ganancia aparente. 277
Figura 44.1. Caracterización de fibra y compatibilidad del sistema. 278
Figura 44.2. Curvas simuladas del coeficiente y de la dispersión acumulada. 281
Figura 45.1. Lectura de PMD en el expediente. 284
Figura 45.2. Distribución de DGD generada por un modelo estadístico explícito. 287
Figura 46.1. Alcances de prueba y canal entregado. 290
Figura 46.2. Cobertura inicial con resultados indeterminados y no conformes. 293
Figura 47.1. Evidencia de fibra exterior durante su ciclo de vida. 296
Figura 47.2. Secuencia de hitos del tramo ficticio BT-A01. 299
Figura 48.1. Selección del alcance y del ensayo de cobre. 302
Figura 48.2. Margen NEXT simulado frente al perfil del ejercicio. 305
Figura 49.1. Del producto contratado al acta. 309
Figura 49.2. Cadena del requisito REQ-R01 a su evidencia y acta. 311

Figura 50.1. Calidad y margen de transmisión. 315
Figura 50.2. Espectro simulado de seis canales con separación 75 GHz. 317
Figura 50.3. Potencia recibida adecuada y errores altos. 319
Figura 51.1. Relación funcional de cliente y transporte. 320
Figura 51.2. Cronología simulada de defectos con referencia temporal común e incertidumbre de reloj de 1 ms. 322
Figura 52.1. Activación del servicio Ethernet. 326
Figura 52.2. Máximos de retardo simulados durante la carga simultánea. 328
Figura 53.1. Hitos de evidencia submarina y terrestre. 330
Figura 53.2. Recorrido funcional completo del caso. 332
Figura 54.1. Interoperabilidad por combinación. 335
Figura 54.2. Relaciones que forman una combinación de interoperabilidad. 337
Figura 55.1. Cadena de evidencia y recepción. 340
Figura 55.2. Cadena documental del expediente. 342
Figura 56.1. De la muestra a la interpretación temporal. 345
Figura 56.2. Retardos válidos y pérdidas separadas bajo carga. 347
Figura 57.1. Carga, transporte y entrega útil. 351
Figura 57.2. Cota por ventana TCP y RTT. 352
Figura 57.3. Transferencia lenta con enlace disponible. 354
Figura 58.1. Del patrón de demanda a la experiencia del servicio. 356
Figura 58.2. Acumulación y vaciado de una cola bajo el modelo didáctico. 358
Figura 59.1. Observación y atribución. 361
Figura 59.2. Fuentes de evidencia que se contrastan durante el diagnóstico. 363
Figura 59.3. Puerto activo sin servicio utilizable. 365
Figura 60.1. Prueba de una transacción y sus dependencias. 366
Figura 60.2. Dependencias temporales de una transacción simulada. 368
Figura 61.1. Aceptación del componente y del trabajo distribuido. 371
Figura 61.2. Resultados didácticos de AllReduce. 373
Figura 62.1. Recurso, riesgo y servicio. 376
Figura 63.1. Secuencia de una falla controlada. 379
Figura 63.2. Tráfico retorna después de una falla. 382
Figura 64.1. Recuperación hasta una función validada. 383
Figura 65.1. Controles de conectividad. 386
Figura 66.1. Coordinación de una crisis. 389
Figura 67.1. Capas de observación. 392
Figura 68.1. Modelo y realidad de conectividad. 395
Figura 69.1. Recuperación y redes del edificio. 398
Figura 70.1. Disciplina de una intervención. 401
Figura 71.1. Ciclo de automatización. 404

Figura 72.1. Competencia por función.....407
Figura 73.1. Del requisito al paquete de detalle.....410
Figura 74.1. De la construcción a la operación preparada.....413
Figura 75.1. De la referencia a la declaración.....416
Figura 76.1. Decisión de conectividad durante su ciclo de vida.....419
Figura 77.1. Incorporación del cliente.....422
Figura 78.1. Capacidad y ciclo de vida.....425
Figura 79.1. Recorrido internacional por alcances.....428
Figura 80.1. Dos caminos y su auditoría.....432
Figura 81.1. Capas de un campus.....436
Figura 82.1. Funciones del caso de IA y almacenamiento.....440
Figura 83.1. Migración e incidente.....444
Figura B.1. Dos dominios de borde y una fabric compartida.....453
Figura B.2. Recorrido internacional hasta el equipo y la aplicación.....454
Figura M.1. Entradas y distribución física del campus.....519
Figura M.2. MMR con racks y áreas de intervención.....520
Figura M.3. Rack de interconexión por delante y por detrás.....521
Figura M.4. Interior de un ODF con empalmes y adaptadores.....522
Figura M.5. Casete multifibra con salida a LC dúplex.....523
Figura M.6. Reconocimiento de conectores y caras de acople.....524
Figura M.7. Cross connect seguida de puerto a puerto.....525
Figura M.8. Terminación de una troncal entre MMR y sala.....526
Figura M.9. Sala blanca con bandejas y puntos de distribución.....527
Figura M.10. Rack de cliente con red de servicio y gestión.....528
Figura M.11. Equipos de demarcación y transporte óptico.....529
Figura M.12. Instrumentos y extremos de un banco de pruebas.....530
Figura M.13. Montaje de OLTS con referencia y medida.....531
Figura M.14. Montaje de OTDR en los dos sentidos.....532
Figura M.15. Montaje de caracterización de CD y PMD.....533
Figura M.16. Montaje de transmisión y observación de BER y FEC.....534
Figura M.17. Montaje de activación Ethernet con clases simultáneas.....535
Figura M.18. Montaje de desempeño IP TCP y aplicación.....536

Índice de tablas

Tabla P.1. Campus Faro al comenzar la lectura. 4
Tabla P.2. Rutas de estudio y profundidad. 5
Tabla P.3. Rúbrica para interpretar y ejecutar. 5
Tabla 1.1. Tipos de data centers y modelos que se superponen. 21
Tabla 1.2. Los recorridos internacionales, nacionales y locales. 22
Tabla 1.3. Energía, ubicación, espacio y conectividad. 23
Tabla 1.4. Infraestructura cercana, acceso contratado y servicio entregable. 24
Tabla 2.1. Reconocer las necesidades de cada cliente. 28
Tabla 2.2. Definir el desempeño que necesita la aplicación. 31
Tabla 2.3. Caso práctico de una aplicación y su respaldo. 33
Tabla 3.1. Reconocer a los participantes del ecosistema. 35
Tabla 3.2. Comprobar la disponibilidad de cada alternativa. 40
Tabla 4.1. Relacionar comercial e ingeniería con construcción y operación. 44
Tabla 4.2. Asignar responsabilidades durante todo el ciclo de vida. 46
Tabla 4.3. Distinguir ejecución y aprobación. 46
Tabla 5.1. Definir indicadores y objetivos de servicio. 54
Tabla 5.2. Caso práctico de dos alternativas de provisión. 56
Tabla 5.3. Caso práctico de un tablero mensual. 57
Tabla 6.1. Cronología para interpretar una red actual. 63
Tabla 7.1. El cable y las fibras que transportan la información. 68
Tabla 7.2. Qué verificar y con qué evidencia. 73
Tabla 8.1. Situar el aterrizaje dentro del recorrido. 75
Tabla 8.2. Ubicación de la estación y de los terminales ópticos. 78
Tabla 8.3. Aceptación integrada del aterrizaje. 81
Tabla 9.1. Modulación y velocidad de símbolo. 84
Tabla 9.2. OSNR y calidad de la señal. 86
Tabla 9.3. Documentar las condiciones de medición. 89
Tabla 9.4. Caso de un enlace operativo con margen insuficiente. 89
Tabla 10.1. Interfaces y límites de responsabilidad. 93
Tabla 10.2. Los cinco estados de capacidad. 96
Tabla 10.3. Caso de capacidad física con protección insuficiente. 98
Tabla 10.4. Caso de capacidad física con protección insuficiente. 99
Tabla 11.1. Aceptar el servicio que entrega el carrier. 104
Tabla 11.2. Conservar resultados originales y decidir la aceptación. 105
Tabla 12.1. Aceptar el sistema después de reparar. 110
Tabla 13.1. Sensores incorporados y sistemas SMART. 114
Tabla 14.1. Elegir el recurso o servicio que se contrata. 119

Tabla 14.2. Asignar responsabilidades entre organizaciones.....121
Tabla 15.1. Distinguir función, alcance y propiedad.....124
Tabla 15.2. Comprobar capacidad durante la contingencia.....127
Tabla 16.1. Distinguir dimensiones de independencia.....129
Tabla 16.2. Pedir evidencias útiles a los proveedores.....131
Tabla 17.1. Separar derechos sobre el terreno y autorizaciones de obra.....135
Tabla 17.2. Instalar, empalmar y caracterizar la fibra.....138
Tabla 18.1. Comparar inversión, operación y dependencias.....143
Tabla 18.2. Caso comparativo de dos sitios ficticios.....143
Tabla 19.1. Distinguir sala de entrada, MMR y distribución principal.....147
Tabla 19.2. Precisar infraestructura común y espacio de cliente.....149
Tabla 20.1. Definir los equipos que pueden alojarse.....154
Tabla 20.2. Caso de capacidad para 200 conexiones dúplex.....156
Tabla 21.1. Elegir estrella anillo o malla por su función.....160
Tabla 22.1. Decidir cuántos niveles necesita la distribución.....164
Tabla 22.2. Ejemplo de capacidad por zonas.....165
Tabla 23.1. Conservar rutas A y B hasta los puertos.....168
Tabla 24.1. Elegir multimodo por aplicación comprobada.....174
Tabla 25.1. Distinguir tipo de cable y método de polaridad.....177
Tabla 26.1. Comprobar factibilidad y reservar recursos.....182
Tabla 27.1. Distinguir los objetos que se administran.....186
Tabla 28.1. Evaluar la reutilización del cableado.....190
Tabla 29.1. Distinguir funciones de los equipos.....194
Tabla 29.2. Resolver una pareja óptica antes de comprarla.....197
Tabla 30.1. Comprender la función de un NID.....200
Tabla 30.2. Dibujar la entrega con cuatro fronteras.....202
Tabla 31.1. Distinguir ToR y EoR del plano lógico.....205
Tabla 31.2. Dimensionar puertos y cortes con una matriz numérica.....207
Tabla 32.1. Distinguir NIC HBA SmartNIC y DPU.....210
Tabla 32.2. Localizar el límite dentro del servidor.....212
Tabla 33.1. Elegir Ethernet con RoCE según el diseño.....216
Tabla 33.2. Construir el inventario de una plataforma de 128 GPU.....218
Tabla 34.1. Organizar dominios Ethernet y VLAN.....221
Tabla 35.1. Distinguir transporte y plano de control.....226
Tabla 35.2. Construir el recorrido de un paquete encapsulado.....228
Tabla 36.1. Distinguir tránsito peering e intercambio.....231
Tabla 37.1. Reconstruir el acceso a la nube.....236
Tabla 37.2. Reconstruir una conexión a nube desde el rack.....238
Tabla 38.1. Administrar nombres y direcciones.....241

Tabla 38.2. Descomponer una transacción sin duplicar tiempos.....243
Tabla 39.1. Distinguir resolución precisión y exactitud.....247
Tabla 39.2. Presupuesto de incertidumbre y decisión resuelta.....248
Tabla 39.3. Decisiones de referencia para la pérdida del ejercicio.....249
Tabla 40.1. Limpiar y volver a inspeccionar.....252
Tabla 40.2. Prueba de correspondencia y cierre del trabajo.....255
Tabla 41.1. Controlar el lanzamiento en fibra multimodo.....258
Tabla 41.2. Calcular el presupuesto del recorrido.....259
Tabla 41.3. Medir con planos de referencia declarados.....261
Tabla 42.1. Elegir pulso y alcance.....265
Tabla 42.2. Procedimiento de adquisición y revisión.....268
Tabla 42.3. Leer una adquisición pública de fibra instalada.....269
Tabla 43.1. Calcular la pérdida bidireccional.....272
Tabla 43.2. Revisar saturación fantasmas y retornos.....273
Tabla 43.3. Interpretar reflectancia y pérdida de retorno.....275
Tabla 44.1. Calcular una estimación con hipótesis explícitas.....279
Tabla 44.2. Procedimiento de adquisición y compatibilidad.....282
Tabla 45.1. Interpretar variación y longitud.....285
Tabla 45.2. Leer resultados de PMD de campo publicados.....288
Tabla 46.1. Seleccionar normas y pruebas aplicables.....291
Tabla 46.2. Aceptar la aplicación sobre el canal construido.....294
Tabla 47.1. Relacionar fibra cable y recorrido.....297
Tabla 47.2. Plan por hitos para el tramo terrestre BT-A01.....299
Tabla 48.1. Interpretar mapa longitud y tiempos.....303
Tabla 48.2. Ensayo resuelto de un enlace de cobre.....306
Tabla 49.1. Convertir la oferta en requisitos medibles.....308
Tabla 49.2. Convertir una oferta en una matriz de aceptación.....311
Tabla 50.1. Medir potencia sin confundirla con calidad.....314
Tabla 50.2. Qué permite afirmar una prueba sin errores.....317
Tabla 51.1. Leer alarmas sin perder la causa inicial.....321
Tabla 51.2. Lectura de una cascada de alarmas.....323
Tabla 52.1. Ejecutar una secuencia reproducible.....326
Tabla 52.2. Protocolo resuelto de activación de tres clases.....327
Tabla 53.1. Distinguir OTDR terrestre de supervisión submarina.....331
Tabla 53.2. Construir el expediente desde el sistema submarino.....333
Tabla 54.1. Validar gestión alarmas y reemplazos.....336
Tabla 54.2. Matriz de combinaciones ensayadas y soportadas.....337
Tabla 55.1. Conservar originales montaje y estado metrológico.....341
Tabla 55.2. Conciliación de evidencia y cierre de no conformidades.....343

Tabla 56.1. Definir variación y percentiles.....346
Tabla 57.1. Preparar extremos y protocolo TCP.....351
Tabla 57.2. Procedimiento para separar red y extremos.....353
Tabla 58.1. Probar clasificación y tratamiento.....357
Tabla 58.2. Prueba reproducible de calidad bajo competencia.....359
Tabla 59.1. Combinar pruebas activas y observación pasiva.....362
Tabla 59.2. Ejemplo de atribución escalonada.....364
Tabla 60.1. Construir una carga representativa.....367
Tabla 60.2. Preparar carga y verificar resultado funcional.....369
Tabla 61.1. Observar congestión ECN y PFC.....372
Tabla 61.2. Leer y comprobar una salida de AllReduce.....373
Tabla 62.1. Recorrer la cadena internacional e interna.....377
Tabla 62.2. Registro de riesgo común aplicado al campus.....378
Tabla 63.1. Separar protección convergencia y recuperación.....380
Tabla 64.1. Relacionar replicación consistencia y distancia.....384
Tabla 65.1. Elegir la capa de protección en tránsito.....387
Tabla 66.1. Construir una evidencia compartida.....390
Tabla 67.1. Recoger métricas registros flujos y trazas.....393
Tabla 68.1. Separar inventario configuración y telemetría.....396
Tabla 68.2. Registro de relaciones y estados del inventario.....397
Tabla 69.1. Inventariar sistemas de supervisión y control.....399
Tabla 70.1. Preparar ventana y retorno.....402
Tabla 71.1. Validar antes de aplicar.....405
Tabla 71.2. Registro de una ejecución parcial y su conciliación.....406
Tabla 72.1. Enseñar preparación ejecución e interpretación.....408
Tabla 73.1. Desarrollar concepto y diseño básico.....411
Tabla 73.2. Índice relacionado de un paquete de detalle.....412
Tabla 74.1. Definir FAT SAT y alcance contractual.....414
Tabla 75.1. Relacionar familias con objetos.....417
Tabla 76.1. Construir el costo completo.....420
Tabla 77.1. Definir catálogo y reservar recursos.....423
Tabla 78.1. Medir energía y trabajo útil.....426
Tabla 79.1. Fijar requisito y cadena de responsables.....429
Tabla 79.2. Ficha maestra del proyecto conductor Campus Faro.....430
Tabla 80.1. Dibujar caminos y extremos reales.....432
Tabla 80.2. Capacidad superviviente y alcance de la independencia.....434
Tabla 81.1. Dimensionar fibras y reservas por dominio.....437
Tabla 81.2. Dimensionamiento completo de seis troncales.....438
Tabla 82.1. Dimensionar datos y cuello de botella.....441

Tabla 82.2. Aceptación escalonada con datos del taller. 442
Tabla 83.1. Ejecutar y detectar la desviación. 445
Tabla 83.2. MOP del traslado con control de parada y retorno. 446
Tabla A.1. Glosario español e inglés y siglas. 449
Tabla B.1. Anexo B Simbología y dibujos del recorrido. 453
Tabla B.2. Del océano al servicio entregado. 454
Tabla C.1. Anexo C Ficha de requisitos y factibilidad. 455
Tabla C.2. Ejemplo de resolución de factibilidad. 456
Tabla C.3. Ejemplo de resolución de factibilidad. 456
Tabla C.4. Campus Faro: ficha de requisitos resuelta. 457
Tabla D.1. Anexo D Matrices de rutas y responsabilidades. 458
Tabla D.2. Asignación de responsabilidades. 458
Tabla D.3. Campus Faro: matriz de interfaces y riesgos. 459
Tabla E.1. Anexo E Inventarios y órdenes de conexión. 460
Tabla E.2. Orden de conexión y registro de ejecución. 461
Tabla E.3. Campus Faro: orden de cross connect cumplimentada. 461
Tabla F.1. Anexo F Cálculos y dimensionamiento. 463
Tabla F.2. Anexo F Cálculos y dimensionamiento. 463
Tabla F.3. Capacidad, tiempo, dispersión y unidades. 464
Tabla F.4. Capacidad, TCP y confianza BER resueltos. 465
Tabla G.1. Anexo G Fichas de medición. 466
Tabla G.2. Inspección y pérdida de inserción. 466
Tabla G.3. OTDR, dispersión cromática y PMD. 467
Tabla G.4. Transmisión óptica, OTN y tramo submarino. 468
Tabla G.5. G.3.1 Evidencia aportada por el operador submarino. 468
Tabla G.6. Ethernet, IP, TCP y función final. 469
Tabla G.7. Cobre balanceado y cobertura de certificación. 470
Tabla G.8. Campus Faro: fichas de resultados cumplimentadas. 470
Tabla H.1. Anexo H Interpretación de pruebas. 472
Tabla I.1. Anexo I Protocolos de aceptación. 501
Tabla I.2. Anexo I Protocolos de aceptación. 501
Tabla I.3. Continuidad y acta de decisión. 502
Tabla I.4. I.2.1 Acta de aceptación por alcance. 502
Tabla I.5. Campus Faro: acta de aceptación parcial resuelta. 503
Tabla J.1. MOP de una intervención concreta. 504
Tabla J.2. MOP de una intervención concreta. 504
Tabla J.3. EOP y cronología de incidente. 505
Tabla J.4. EOP y cronología de incidente. 505
Tabla J.5. Campus Faro: MOP de migración y retorno resuelto. 505

Tabla K.1. Anexo K Expediente de entrega.....507
Tabla K.2. Cómo utilizar el kit práctico.....508
Tabla L.1. Anexo L Mapa de normas y actualización.....510
Tabla L.2. Registro de edición y revisión técnica.....511
Tabla L.3. Registro de edición y revisión técnica.....511
Tabla L.4. Aplicabilidad de métodos de prueba.....512

Parte 1 La conectividad como ventaja competitiva

La demanda del cliente guía las decisiones de conectividad. Esta parte relaciona aplicaciones, ecosistemas, gobierno e indicadores antes de comprometer infraestructura y plazos.

Capítulo 1 El data center dentro de las redes digitales

Al terminar este capítulo, el lector podrá Situar el data center en los recorridos internacionales nacionales y locales.

Términos esenciales. Acceso contratado = alcance adquirido; servicio entregable = función habilitada y comprobada.

Un cliente instala sus servidores, recibe energía y verifica que los equipos encienden. Sin embargo, todavía no puede utilizar la aplicación que justificó la inversión: falta completar una conexión entre el operador y su rack. El edificio está disponible, los equipos están funcionando y la fibra llega al recinto, pero el servicio del cliente sigue pendiente. Esta situación hipotética resume el problema que abordará este libro: la conectividad debe resolverse de extremo a extremo.

Un data center reúne equipos para procesar, almacenar e intercambiar información, junto con los sistemas que permiten su funcionamiento. Sus redes lo vinculan con usuarios, empresas, operadores, nubes y otras instalaciones. Entenderlo exige mirar simultáneamente lo que ocurre dentro del edificio y las redes de las que depende fuera de él.

1.1 Una instalación física que participa en muchos recorridos

Una operación digital puede comenzar en un teléfono, continuar en una aplicación alojada en un data center, consultar una base de datos en otro sitio y registrar una copia en una tercera ubicación. El usuario ve una respuesta en pantalla; detrás de ella participan recursos y conexiones administrados por varias organizaciones.

El papel de cada instalación depende de la aplicación. Puede alojar la base de datos principal, ejecutar procesamiento, distribuir contenido, intercambiar tráfico o recibir respaldos. Incluso dentro de un mismo campus, dos servicios pueden utilizar redes distintas y necesitar condiciones de continuidad diferentes.

Por eso, describir un proyecto mediante su superficie o su potencia no explica todavía qué servicios podrá entregar. También necesitamos identificar los usuarios y destinos, las redes disponibles, los puntos de interconexión y las condiciones de desempeño requeridas. La planificación del emplazamiento debe relacionar demanda, infraestructura y operación, como plantea Geng en su introducción a la planificación de data centers. [1]

1.2 Tipos de data centers y modelos que se superponen

Las denominaciones habituales describen dimensiones diferentes. Empresarial se refiere principalmente al uso; colocation, a una forma de alojar infraestructura de terceros; hyperscale, a una escala y arquitectura de crecimiento; edge, a la posición del procesamiento respecto de usuarios o fuentes de datos. Estas categorías pueden combinarse.

Tabla 1.1. Tipos de data centers y modelos que se superponen

Denominación	Qué describe	Pregunta de conectividad
Empresarial o de uso propio	Una organización utiliza la instalación para sus sistemas y aplicaciones.	¿Cómo se conecta con sus sedes, usuarios, proveedores y sitios de recuperación?
Colocation	Un proveedor aloja equipos de clientes en espacios contratados.	¿Qué operadores y conexiones puede solicitar cada cliente y cómo se entregan?
Hyperscale	Infraestructura organizada para operar y crecer a gran escala.	¿Cómo se amplían las redes, se conectan los edificios y se gestionan las dependencias?
Edge	Procesamiento situado cerca de usuarios, dispositivos o fuentes de datos según el objetivo.	¿La ubicación reduce el recorrido efectivo y satisface la aplicación?
Centro de interconexión	Instalación con una función destacada de encuentro entre redes y organizaciones.	¿Qué participantes están presentes y qué intercambios se pueden habilitar?

En colocation, alojar equipos y prestar conectividad son actividades relacionadas que deben delimitarse en la oferta. El cliente puede contratar espacio y energía, un servicio de red y una cross connect mediante pedidos y responsabilidades diferentes. La documentación de Equinix, por ejemplo, distingue productos de alojamiento, interconexión física y servicios en sitio. [3]

La nube requiere otra precisión. NIST la define como un modelo de acceso por red a recursos informáticos compartidos y aprovisionables bajo demanda. Es un modelo de servicio, cuya infraestructura física se aloja en data centers; no identifica por sí solo una única forma de edificio. Una organización puede consumir nube pública y mantener equipos propios en colocation. [2]

Edge tampoco significa automáticamente una instalación pequeña ni garantiza una latencia concreta. Su interés está en acercar capacidad de procesamiento al lugar donde resulta útil. ETSI describe MEC como un entorno de capacidades informáticas en el borde de la red y contempla distintos despliegues. El resultado debe verificarse sobre el recorrido y la aplicación reales. [4]

Para analizar un proyecto conviene describirlo con varias preguntas: quién usa los equipos, quién administra las redes, cómo crecerá la instalación, dónde están los usuarios y qué conexiones necesita cada servicio. Esa descripción es más útil que asignarle una sola etiqueta.

1.3 Los recorridos internacionales, nacionales y locales

El recorrido internacional es central para muchas aplicaciones, pero no toda comunicación de un data center cruza un océano. Un respaldo entre ciudades, una consulta entre dos racks y una conexión con un proveedor situado en la misma ciudad utilizan trayectos distintos. Cada uno necesita una evaluación propia.

En un recorrido internacional por cable submarino, la comunicación puede atravesar una instalación remota, transporte terrestre, un sistema submarino, un aterrizaje, backhaul y redes metropolitanas antes de entrar al data center de destino. El backhaul enlaza el aterrizaje con otros puntos de la red. Telxius documenta, por ejemplo, conexiones terrestres entre su instalación de Virginia Beach y Ashburn o Richmond. El aterrizaje forma parte de una cadena mayor. [5]

Los recorridos nacionales o regionales conectan instalaciones y usuarios mediante redes de transporte. Pueden permanecer dentro de un país o cruzar fronteras por tierra. Su evaluación debe considerar los nodos intermedios, los terceros que participan y las rutas utilizadas, sin dar por hecho que el trayecto coincide con el más corto del mapa.

En la escala metropolitana, dos organizaciones pueden intercambiar tráfico en una misma ciudad o mediante una plataforma de interconexión. Dentro del campus, la comunicación puede unir edificios, salas o racks. Un intercambio local puede evitar un recorrido internacional, dependiendo de cómo estén configurados los servicios y las políticas de las redes.

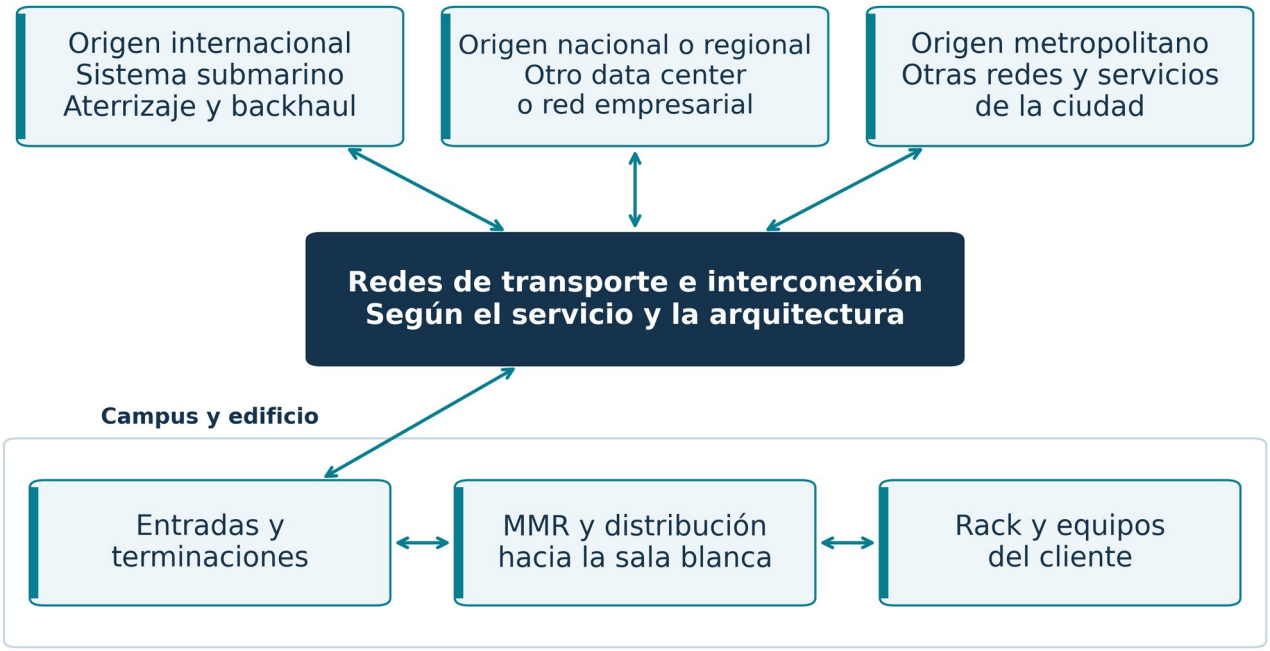


Figura 1.1. Recorridos conceptuales hacia el data center. Elaboración propia. Las flechas representan comunicación en ambos sentidos y no acreditan diversidad física.

La figura representa recorridos conceptuales. Una misma instalación puede utilizar varios a la vez. Los equipos terminan y transforman señales según la arquitectura; el dibujo no representa una única fibra continua ni sustituye el diseño de las rutas A y B.

Tabla 1.2. Los recorridos internacionales, nacionales y locales

Escala	Ejemplo de uso	Qué debemos identificar
Internacional	Acceder a una plataforma alojada en otro continente.	Sistemas utilizados, extremos, aterrizajes, transporte terrestre y demarcaciones.
Nacional o regional	Replicar datos hacia otro sitio.	Rutas, nodos, capacidad y condiciones de recuperación.
Metropolitana	Conectar con otra instalación de la ciudad.	Interconexiones, proveedor, recorrido y punto de entrega.
Dentro del campus	Comunicar salas, edificios o racks.	Distribución física, equipos, segmentación y responsables.

La evaluación comienza por los destinos y la función de cada conexión. Una ruta excelente hacia una ciudad no demuestra el mismo desempeño hacia otra, y una conexión exterior disponible no acredita que la distribución interna esté lista para recibir al cliente.

1.4 Energía, ubicación, espacio y conectividad

Energía, ubicación, espacio y conectividad se condicionan entre sí. Una decisión que favorece un recurso puede introducir costos o restricciones en otro. El trabajo de planificación consiste en identificar esas relaciones antes de comprometer el emplazamiento o el diseño.

La energía hace posible operar servidores y también routers, switches y sistemas ópticos. Su disponibilidad y continuidad deben llegar hasta los equipos de red que sostienen el servicio. Una aplicación puede perder comunicación aunque sus servidores sigan encendidos si un equipo intermedio o una de sus dependencias queda fuera de operación.

La ubicación determina las alternativas de acceso que deben estudiarse: cercanía a demanda, redes, puntos de interconexión y rutas de transporte. La distancia geográfica ayuda a evaluar opciones, pero el desempeño depende del recorrido efectivo, los equipos y las condiciones de tráfico. Una instalación cercana a un usuario no está necesariamente bien conectada con su red.

El espacio incluye los recintos de telecomunicaciones, los paneles, las terminaciones y las canalizaciones. La expansión de capacidad puede requerir más fibras, puertos, equipos y disipación térmica. Reservar superficie para servidores sin prever cómo llegarán sus conexiones puede limitar el crecimiento del conjunto.

La conectividad debe integrarse en esas decisiones desde el comienzo. En una comparación de sitios, conviene evaluar lo que puede entregarse inicialmente, lo que requiere obra y lo que dependerá de una ampliación futura. El capítulo de Geng relaciona la selección del lugar con infraestructura de fibra, energía, capacidad y operación. [1]

Tabla 1.3. Energía, ubicación, espacio y conectividad

Recurso	Pregunta de diseño	Dependencia que debe revisarse
Energía	¿Qué equipos deben seguir funcionando para mantener el servicio?	Alimentación de equipos del cliente, del carrier y de nodos pertinentes.
Ubicación	¿Dónde están los usuarios y destinos relevantes?	Acceso efectivo a redes, puntos de intercambio y rutas alternativas.
Espacio	¿Dónde terminarán y crecerán las conexiones?	MMR, distribuidores, racks, bandejas y condiciones ambientales.
Conectividad	¿Qué servicio puede habilitarse en cada fase?	Capacidad, obra pendiente, equipos, permisos, pruebas y plazos.

1.5 Desde la entrada de fibra hasta el servidor

En un recorrido ilustrativo, la fibra del operador entra al campus y alcanza una sala de telecomunicaciones o MMR, la sala de encuentro e interconexión. Allí se sitúan puntos de terminación y, según el diseño, equipos. La distribución continúa hacia el espacio del cliente mediante troncales, paneles y latiguillos hasta llegar a un puerto del equipo.

La cross connect es una conexión física entre puntos autorizados de las partes. Puede formar parte de la unión entre cliente y operador o entre organizaciones. La documentación de Equinix la describe como un enlace de cableado físico dedicado entre dos partes dentro de una instalación. Su instalación debe coordinarse con el servicio y con los extremos que se conectan. [6]

El edificio puede aportar canalizaciones, distribución y ejecución de conexiones. El carrier entrega el servicio definido en el contrato y el cliente administra sus equipos, salvo que contrate otra modalidad. Estas fronteras varían: deben fijarse para cada proyecto, con puertos, ubicaciones y obligaciones identificables.

Además del recorrido físico existe una organización lógica. Las redes determinan por dónde se encamina el tráfico, cómo se separan los clientes y qué políticas se aplican. Una conexión puede atravesar redes administradas por varias empresas. Saber dónde está el cable y conocer la ruta lógica responden preguntas distintas que deben relacionarse.

La solicitud del cliente debe poder seguirse hasta su extremo final. Si el carrier entrega en un panel y la conexión hasta el rack queda sin responsable, existe un tramo pendiente aunque los participantes hayan cumplido por separado una parte de su trabajo.

1.6 Infraestructura cercana, acceso contratado y servicio entregable

La primera distinción es la infraestructura cercana. Un mapa o visita puede mostrar una canalización o un tendido junto al predio. Esa evidencia justifica iniciar una evaluación, pero no confirma propiedad, fibras disponibles, permisos de conexión, capacidad, plazo ni posibilidad de contratar el servicio requerido.

La segunda es el acceso contratado. Un acuerdo puede definir capacidad, extremos, precio y fecha de entrega. Su existencia permite asignar obligaciones, pero la instalación puede seguir pendiente de permisos, obra civil, equipos, configuración o conexiones internas. El estado contractual y el estado técnico deben registrarse por separado.

La tercera es el servicio entregable. En este libro utilizamos esa expresión para la solución que cuenta con los elementos necesarios para entregar lo comprometido en los puntos definidos. Para declarar su activación y aceptación deben completarse las comprobaciones acordadas y quedar resueltas sus responsabilidades operativas. Es una convención de trabajo del libro, no una categoría normativa universal.

Tabla 1.4. Infraestructura cercana, acceso contratado y servicio entregable

Estado	Qué se ha demostrado	Qué puede faltar
Infraestructura cercana	Existe una referencia identificada de infraestructura en el entorno.	Factibilidad, derechos de uso, capacidad, acceso al sitio y oferta.
Acceso contratado	Hay obligaciones y condiciones documentadas entre las partes.	Construcción, instalación, configuración, pruebas y entrega.
Servicio habilitado y aceptado	La entrega definida fue implementada y comprobada según criterios acordados.	Seguimiento operativo, conservación de condiciones y ampliaciones futuras.

Para pasar de la posibilidad a la entrega conviene disponer de un expediente: extremos y puertos; diseño y recorrido; responsables; capacidad y condiciones; trabajos terminados; equipos y

configuración; resultados de prueba; acta y contactos de operación. La extensión del expediente debe guardar relación con la complejidad y el riesgo del servicio.

Las frases comerciales deben reflejar el estado alcanzado. “Hay fibra en el entorno”, “existe factibilidad”, “el enlace está contratado” y “el servicio fue aceptado” comunican situaciones diferentes. Esta precisión permite al cliente evaluar su fecha de instalación y al propietario gestionar lo que queda pendiente.

1.7 Capacidad y continuidad vistas por el cliente

La capacidad útil de un recorrido depende de sus tramos, del servicio contratado y de sus extremos. Un puerto nominal de 10 Gb/s puede utilizarse para entregar un perfil de servicio menor. La presencia del puerto tampoco demuestra la velocidad que alcanzará una transferencia entre dos servidores.

Para conocer el desempeño debemos fijar extremos y condiciones de medición. La latencia de ida y vuelta, RTT, combina ambos sentidos; las rutas o las colas pueden ser distintas. Una medición de RTT no permite atribuir automáticamente la mitad del resultado a cada sentido. RFC 2681 explica estas limitaciones. [7]

En las transferencias TCP influyen también el retardo, la pérdida y la configuración de los extremos. RFC 6349 ofrece un marco de medición para redes IP gestionadas. Esa relación justifica que el libro estudie tanto la red como los equipos que producen y reciben el tráfico. [8]

La continuidad debe describirse con el mismo cuidado. Dos contratos no prueban dos rutas físicamente independientes. Una ruta alternativa debe estudiarse por su recorrido, sus dependencias y la capacidad que ofrece durante la contingencia. La pregunta del cliente es qué podrá seguir haciendo cuando falle un componente y qué degradación experimentará.

1.8 Caso práctico de evaluación de un emplazamiento

Consideremos un caso ficticio. Una empresa compara dos terrenos para alojar aplicaciones con usuarios nacionales, acceso a una plataforma internacional y respaldo en otro sitio. El terreno A dispone de una oferta energética atractiva y un tendido visible a 300 metros. El terreno B tiene condiciones energéticas distintas y un estudio documentado de accesos de telecomunicaciones.

En el terreno A todavía no se conoce si el tendido puede utilizarse, dónde se autorizaría la conexión ni qué obras permitirían llegar al futuro rack. En el B existe una propuesta con extremos definidos, alcance de obra y plazos estimados, pero las conexiones aún deben construirse y probarse. Ninguno puede presentarse como un servicio ya aceptado.

La comparación debe asignar a ambos sitios el mismo nivel de exigencia. Es necesario verificar factibilidad, destinos, obras, permisos, plazos, diversidad y resultados esperados. Después se comparan el costo total de habilitación y el riesgo de no estar listo cuando el cliente lo necesita. La cercanía de una línea en el mapa no puede utilizarse como sustituto de esa evaluación.

La decisión puede favorecer cualquiera de los terrenos una vez obtenida la evidencia. El aprendizaje del caso es mantener visibles las diferencias entre datos comprobados, condiciones pendientes e hipótesis de diseño. De ese modo, la conectividad participa en la decisión de inversión y en el calendario del proyecto.

1.9 El primer expediente de conectividad

Antes de avanzar al siguiente capítulo, el lector puede preparar una ficha inicial del data center. Debe identificar su función, los usuarios previstos y los destinos esenciales; representar los recorridos internacionales, nacionales y locales; relacionar energía, espacio y conexión; y registrar el estado de cada servicio.

La ficha debe responder cinco preguntas: ¿qué necesita comunicar el cliente?, ¿entre qué puntos?, ¿qué infraestructura y servicios lo harán posible?, ¿qué falta para habilitarlos? y ¿con qué evidencia se aceptará la entrega? Las respuestas servirán para formular requisitos y evaluar alternativas a lo largo del libro.

El data center se integra en las redes digitales cuando sus conexiones permiten entregar el servicio previsto y existe una organización capaz de sostenerlo. Desde esa perspectiva, el edificio, las redes exteriores y la distribución hasta el servidor forman parte de una misma responsabilidad de coordinación. El siguiente capítulo desarrollará cómo convertir las necesidades del cliente en requisitos de capacidad, desempeño y continuidad.

Entrega del capítulo. Mapa desde origen hasta aplicación con estados de provisión.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué categorías describen el uso, la escala y la ubicación del proyecto, y cuáles se superponen?
2. ¿Qué destinos necesitan recorridos internacionales y cuáles pueden resolverse nacional o localmente?
3. ¿Qué evidencia respalda las afirmaciones sobre disponibilidad de redes y diversidad?
4. ¿Dónde termina la responsabilidad de cada participante y quién resuelve los tramos intermedios?
5. ¿Qué falta entre la infraestructura disponible y la entrega aceptada por el cliente?

Las fuentes de operadores ilustran prácticas y productos de esas organizaciones. Los recorridos y el caso de emplazamiento del capítulo son elaboraciones didácticas; las condiciones de cada proyecto deben verificarse con sus participantes.

Capítulo 2 Requisitos de los clientes y sus aplicaciones

Al terminar este capítulo, el lector podrá Traducir una necesidad de aplicación en requisitos medibles.

Términos esenciales. Requisito = condición verificable; percentil = posición declarada en una distribución.

Una empresa solicita dos enlaces de 10 Gb/s para instalarse en un data center. La petición parece precisa, pero todavía deja preguntas abiertas. No sabemos con qué destinos necesita comunicarse, cuánto tráfico generará, qué parte corresponde a respaldos ni qué debe seguir funcionando si falla uno de los enlaces. Tampoco conocemos los puntos donde el proveedor entregará el servicio.

El trabajo comienza al relacionar la actividad del cliente con sus comunicaciones. Este capítulo explica cómo convertir necesidades de empresas, carriers, nube, contenido, almacenamiento e inteligencia artificial en requisitos de capacidad, desempeño, seguridad y continuidad. El resultado será una ficha que pueda utilizarse para diseñar, solicitar ofertas, asignar responsabilidades y aceptar la entrega.

2.1 Describir lo que debe funcionar

La primera conversación debe identificar qué hace la aplicación y qué ocurre cuando su comunicación se degrada. Una plataforma de ventas necesita completar transacciones; un servicio de video debe entregar contenido a tiempo; un respaldo debe terminar dentro de una ventana; un sistema distribuido necesita coordinar sus componentes. Cada resultado obliga a observar aspectos distintos de la conectividad.

Para cada aplicación debemos registrar quién la utiliza, dónde están sus componentes, cuándo trabaja y qué dependencia tiene de otras plataformas. También debemos acordar cómo reconocer su funcionamiento correcto. El responsable del negocio aporta el impacto de una interrupción; el equipo de aplicaciones explica sus dependencias; infraestructura y redes determinan cómo sostenerlas y comprobarlas.

Una solicitud puede formularse inicialmente como «necesitamos baja latencia». Para desarrollarla debemos identificar el trayecto, la operación sensible al retardo y el límite que admite. El requisito quedará completo cuando tenga una métrica, un umbral, condiciones de observación y un responsable de validación. Los valores deben proceder de la aplicación, de pruebas o de una decisión documentada del cliente.

Conviene separar requisitos obligatorios, preferencias y previsiones de crecimiento. Los primeros condicionan la aceptación. Las preferencias ayudan a comparar soluciones. Las previsiones permiten reservar recursos y planificar ampliaciones. Cuando falte información, se debe registrar quién la aportará y cuándo se resolverá, antes de comprometer el diseño afectado.

2.2 Reconocer las necesidades de cada cliente

Los tipos de cliente orientan la investigación, pero una misma organización puede combinar varios perfiles. Una empresa puede alojar servidores, contratar nube, distribuir contenido y operar un clúster de IA dentro de un mismo proyecto.

Tabla 2.1. Reconocer las necesidades de cada cliente

Perfil	Necesidad que debe investigarse	Información que debe solicitarse
Empresa	Acceso de sedes y usuarios a sus aplicaciones y recuperación del servicio.	Sedes, usuarios simultáneos, horarios, aplicaciones críticas y sitios alternativos.
Carrier u operador	Entregar o intercambiar servicios con redes y clientes.	Extremos, interfaces, capacidad, enrutamiento, demarcaciones y alcance operativo.
Proveedor o consumidor de nube	Comunicar recursos alojados en distintos entornos.	Región y servicio, acceso público o privado, puntos de conexión y respaldo.
Contenido y CDN	Acercar y entregar contenido a audiencias concretas.	Ubicación de usuarios, demanda en hora punta, cachés y redes de acceso relevantes.
Almacenamiento y respaldo	Mover, replicar y recuperar datos dentro de los plazos requeridos.	Volumen, cambios diarios, concurrencia, ventanas y rendimiento de los extremos.
Inteligencia artificial	Alimentar el procesamiento y comunicar sus componentes.	Entrenamiento o inferencia, topología del clúster, conjuntos de datos y acceso a almacenamiento.

En nube hay que identificar la región y el servicio concreto. Una conexión con un punto de presencia puede formar solo una parte del trayecto hasta el recurso que utiliza el cliente. Debe comprobarse qué incluye la oferta, qué conexiones adicionales requiere y qué ocurre cuando el acceso principal no está disponible.

En contenido interesa conocer las redes desde las que llega la audiencia. La cercanía física de una caché ayuda a estudiar opciones, pero su efecto depende de la interconexión efectiva y del encaminamiento. El análisis debe considerar las horas de mayor demanda y los eventos que pueden concentrar usuarios.

En IA conviene distinguir la entrada de datos, la comunicación entre nodos, el acceso al almacenamiento y la administración. Como ejemplo de esa separación, la arquitectura de referencia DGX SuperPOD B200 de NVIDIA describe redes de cómputo, almacenamiento y gestión dentro y fuera de banda. Es una arquitectura específica, que ilustra por qué la conectividad de IA debe desglosarse por función. [9]

El entrenamiento distribuido y la inferencia pueden tener prioridades diferentes. En el primero debemos investigar el intercambio entre nodos y el suministro de datos. En la inferencia debemos conocer además la demanda concurrente y el tiempo de respuesta que espera el usuario. La red exterior, el procesamiento y las redes internas participan de manera distinta en cada caso.

2.3 Identificar destinos y flujos

El inventario debe representar comunicaciones concretas. Cada flujo necesita un origen y un destino, un sentido, una función y una condición de operación. «Internet» es una descripción demasiado amplia para evaluar el acceso a una plataforma determinada. Debemos identificar los destinos relevantes y el alcance sobre el que podemos medir o asumir compromisos.

Dentro del data center se suele hablar de tráfico norte sur para la comunicación entre las cargas alojadas y redes exteriores, y de tráfico este oeste para el intercambio entre componentes internos. Estas expresiones ayudan a ordenar el análisis; el plano debe mostrar los extremos reales. Las redes de almacenamiento, replicación y administración deben representarse según su función y arquitectura.

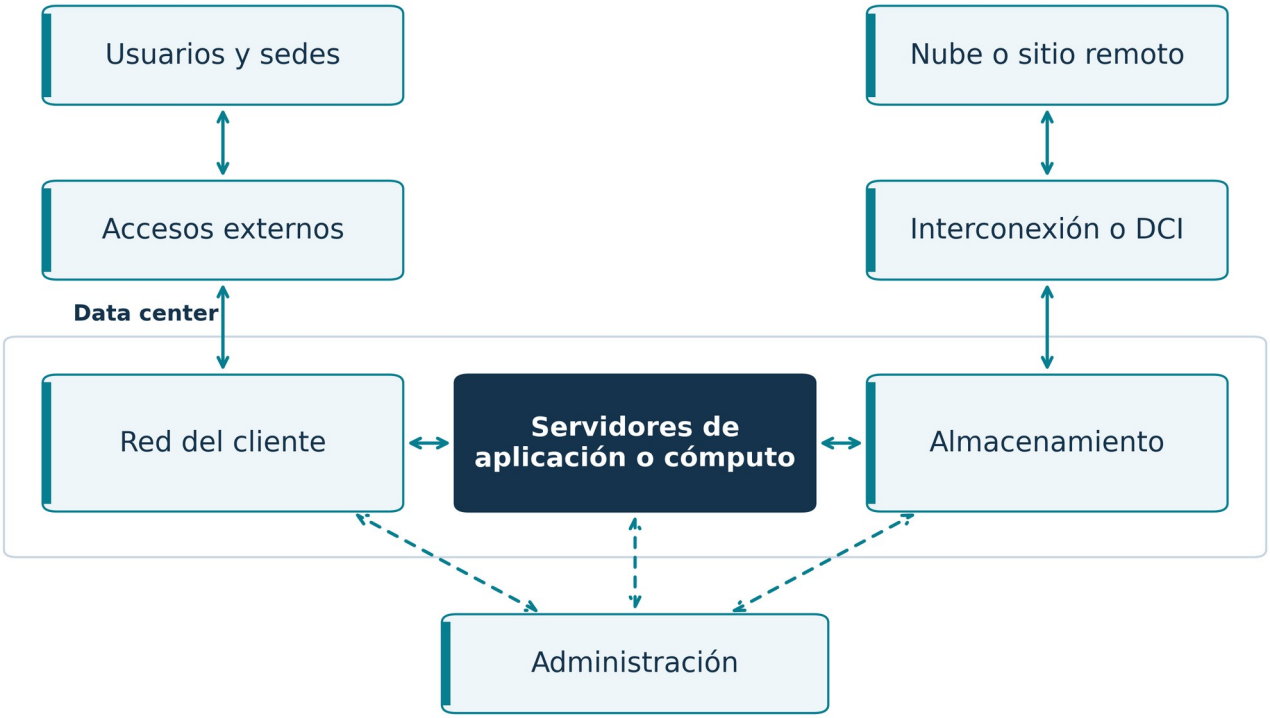


Figura 2.1. Flujos funcionales de un cliente. Elaboración propia. Las líneas discontinuas representan administración. El esquema no acredita diversidad física ni prescribe una topología.

La figura muestra flujos funcionales. No es un plano de cableado ni acredita independencia entre rutas. En un proyecto real deben añadirse los puertos, equipos, MMR, cross connects y demarcaciones que materializan cada conexión.

Por flujo conviene registrar el protocolo o la aplicación, la capacidad inicial, el patrón de tráfico y su crecimiento. Debemos conocer si predomina la subida, la bajada o el intercambio simultáneo en ambos sentidos. También interesa saber si el tráfico es continuo, periódico o concentrado en ráfagas, y si coincide con otros procesos que utilizan los mismos recursos.

El análisis debe incluir dependencias de funcionamiento: resolución de nombres, autenticación, sincronización horaria, licencias o gestión remota, cuando correspondan. Una aplicación puede perder utilidad por la indisponibilidad de una de esas dependencias aunque el enlace principal continúe activo.

2.4 Fijar puntos de entrega y responsabilidades

Un requisito de conectividad debe señalar dónde comienza y termina el compromiso. La entrega puede realizarse en un panel de la MMR, en el puerto de un equipo del operador, en el rack del cliente o mediante una interfaz lógica. Estas ubicaciones implican alcances diferentes.

Podemos reconocer tres límites relacionados. El límite físico identifica recinto, rack, panel, fibra y puerto. El límite del servicio identifica la interfaz, capacidad y funciones entregadas. El límite de la

aplicación identifica los sistemas entre los que el cliente necesita obtener un resultado. Debemos relacionarlos para determinar qué demuestra cada prueba.

Si el carrier mide entre sus equipos de demarcación, el resultado caracteriza ese alcance. Para evaluar una transferencia entre servidores deben incorporarse también las conexiones internas y los propios extremos. Ambos resultados son útiles si el expediente conserva sus puntos y condiciones de medida.

La asignación debe nombrar quién solicita y ejecuta la cross connect, instala las ópticas, configura los equipos, autoriza los cambios y atiende una falla. También debe identificar quién recibe al carrier y quién reúne la evidencia de aceptación. Los tramos compartidos requieren una coordinación acordada antes de la puesta en servicio.

2.5 Dimensionar capacidad y crecimiento

La capacidad se dimensiona a partir de la carga que debe transportarse y del tiempo disponible. Debemos distinguir la velocidad física del puerto, el perfil contratado, la tasa medida en una capa determinada y los datos útiles que recibe la aplicación. Esos valores pueden diferir por el alcance del servicio, las cabeceras, las retransmisiones y el comportamiento de los equipos.

Para una transferencia sencilla, una primera estimación es dividir el volumen útil entre el tiempo disponible. Si el volumen D está expresado en bytes y el tiempo t en segundos, la tasa útil mínima es $8 \times D / t$, en bit/s. El cálculo supone que todo el volumen indicado debe cruzar el trayecto durante esa ventana.

Consideremos 2 TB decimales, equivalentes a 2×10^{12} bytes, que deben transferirse en cuatro horas. La tasa útil media mínima es $8 \times 2 \times 10^{12} / 14\,400$, aproximadamente 1,11 Gb/s. Si en una estimación preliminar suponemos que los datos útiles representan el 80 % de la tasa del servicio considerada, la capacidad correspondiente sería 1,11 / 0,80, aproximadamente 1,39 Gb/s. El 80 % es un supuesto didáctico que debe sustituirse por evidencia del sistema; no representa una eficiencia universal.

Después deben añadirse el tráfico concurrente, las restricciones de los extremos y el margen de crecimiento que se acuerde. Compresión, deduplicación o copias incrementales pueden modificar el volumen que atraviesa la red. La estimación debe declarar si los 2 TB corresponden a datos originales, datos leídos o bytes útiles transferidos.

En una arquitectura con enlaces alternativos también debemos calcular la carga durante una falla. Si la operación normal reparte tráfico entre dos enlaces, la pérdida de uno puede concentrarlo en el restante. El requisito debe indicar qué aplicaciones conservan su capacidad, cuáles se limitan y qué trabajos pueden aplazarse.

La proyección debe fijar un horizonte y un disparador de ampliación. Por ejemplo, el cliente puede acordar revisar capacidad cuando una métrica de utilización o una ventana de respaldo alcance un límite definido durante cierto periodo. El indicador y su persistencia deben quedar escritos para evitar que una ráfaga aislada active una decisión que no corresponde.

2.6 Definir el desempeño que necesita la aplicación

Capacidad, retardo, variación del retardo, pérdida y tiempo de respuesta describen aspectos distintos. Sus requisitos deben fijarse por trayecto y por aplicación. Una medición solo puede compararse con otra cuando se conocen las unidades, los extremos, el procedimiento y las condiciones de carga.

Tabla 2.2. Definir el desempeño que necesita la aplicación

Métrica	Qué debemos especificar	Relación con la aplicación
Retardo o latencia	Ida o ida y vuelta, extremos, percentiles, periodo y tráfico de prueba.	Espera de operaciones que requieren intercambio entre componentes.
Variación del retardo	Definición utilizada, secuencia de paquetes, estadístico y periodo.	Regularidad de llegada en comunicaciones sensibles al tiempo.
Pérdida	Paquetes enviados, recibidos, plazo para declarar pérdida y sentido.	Datos que faltan, retransmisiones o interrupciones percibidas.
Throughput y datos útiles	Capa medida, protocolo, tamaño, flujos, duración y configuración.	Trabajo que puede completarse dentro de la ventana disponible.
Tiempo de respuesta	Operación, población de solicitudes, carga, percentiles y errores.	Resultado que experimenta el usuario o sistema consumidor.

El retardo de ida requiere una base temporal adecuada entre los puntos de medida y una evaluación de sus errores. RFC 7679 desarrolla esa métrica. El RTT reúne el trayecto de ida y el de vuelta; RFC 2681 explica que pueden tener rutas y condiciones distintas. Dividir el RTT por dos no demuestra el retardo de cada sentido. [10][7]

Los percentiles permiten describir la distribución observada. El p50 corresponde a la mediana; el p95 y el p99 ayudan a examinar la parte de las mediciones que presenta mayor retardo. Con el método de cálculo acordado, un p99 de 20 ms significa que aproximadamente el 99 % de las muestras queda en ese valor o por debajo. No significa que el retardo nunca supere 20 ms.

El requisito debe declarar cómo se toman las muestras, cuántas hay, durante qué periodo y qué sucede con las fallidas. También debe indicar si se calcula un percentil sobre todas las muestras o por ventanas. El p99 de una colección completa no se obtiene promediando los p99 de sus intervalos. Tampoco se pueden sumar percentiles de tramos para obtener automáticamente el percentil del recorrido completo.

La palabra jitter necesita una definición. RFC 5481 compara formas de variación del retardo que utilizan referencias diferentes y pueden producir resultados distintos sobre una misma secuencia. Una oferta que indique «jitter menor que X» debe precisar la métrica y el estadístico utilizados. [11]

La pérdida requiere definir cuándo un paquete se considera no recibido. RFC 7680 incorpora un tiempo máximo de espera en su métrica. Al presentar resultados conviene conservar el número de paquetes y el periodo observado: cero pérdidas en una muestra describe esa muestra y sus condiciones. [12]

El throughput TCP depende también del RTT, de la pérdida y de los parámetros de los extremos. RFC 6349 desarrolla un marco de pruebas para redes IP gestionadas. Para una aplicación debemos comprobar además que servidores, almacenamiento, cifrado y software pueden producir y recibir la carga necesaria. [8]

Finalmente, el tiempo de respuesta de una operación incorpora otros procesos además de la red. Un requisito de aplicación debe definir qué operación se ejecuta, cuándo comienza y termina la medición, cuántos usuarios concurren y cómo se contabilizan los errores. La prueba de red y la prueba de aplicación se complementan.

2.7 Acordar continuidad y recuperación

La continuidad exige identificar escenarios: pérdida de una fibra, indisponibilidad de un equipo, caída de un acceso, falla de un sitio o indisponibilidad de un servicio externo. Para cada escenario debemos definir la carga que continuará, la degradación tolerable y el tiempo admitido para recuperar el funcionamiento previsto.

Dos carriers pueden compartir ductos, cámaras, cruces o instalaciones. La diversidad debe sustentarse en información de recorrido y dependencias compartidas, con el alcance y las limitaciones de la comprobación. Si una independencia requerida no puede demostrarse, debe quedar como condición pendiente o riesgo aceptado por quien corresponda.

Conviene separar la detección de la falla, la conmutación de red y la recuperación de la aplicación. Un cambio de ruta puede completarse mientras la aplicación todavía necesita restablecer sesiones, resolver dependencias o recuperar datos. La aceptación debe observar los eventos que importan al cliente.

Los objetivos de recuperación ayudan a precisar ese resultado. El RTO fija el tiempo objetivo de recuperación del sistema dentro de lo tolerable para el negocio. El RPO identifica el punto temporal al que deben recuperarse los datos y se relaciona con la pérdida de información admisible. NIST SP 800-34 Rev. 1 desarrolla ambos conceptos. Su cumplimiento depende del conjunto de la solución, incluyendo aplicaciones y datos. [13]

Una ventana de respaldo de cuatro horas, un RTO de cuatro horas y un RPO de cuatro horas plantean obligaciones diferentes. La primera limita cuánto puede tardar una copia; el segundo se refiere a recuperar funcionamiento; el tercero, al estado temporal de los datos recuperables. Deben documentarse y probarse según su propósito.

La disponibilidad requiere una fórmula y un periodo de evaluación, junto con los eventos incluidos, las exclusiones y el punto de observación. El porcentaje contractual de un enlace caracteriza el servicio definido en ese contrato. Para la aplicación deben considerarse también sus restantes dependencias y la forma en que se declara su indisponibilidad.

2.8 Incorporar seguridad y condiciones de operación

Los requisitos de seguridad deben identificar qué comunicaciones se permiten, quién administra cada componente y qué información debe protegerse. Según la aplicación, habrá que definir segmentación, acceso remoto, autenticación, cifrado, registros y protección frente a tráfico malicioso. Cada medida debe tener un responsable y un criterio de comprobación.

El acceso privado debe describirse por su alcance. Si el cliente requiere cifrado, debemos indicar dónde comienza y termina, quién gestiona las claves y qué rendimiento exige con esa función habilitada. Del mismo modo, la protección frente a ataques debe precisar el tráfico protegido, las condiciones de activación y las responsabilidades de atención.

También deben acordarse las condiciones técnicas de integración: tipo de interfaz, medios y ópticas, velocidad del puerto, MTU, direccionamiento IPv4 o IPv6, VLAN, protocolos de enrutamiento y clases de servicio, cuando correspondan. La compatibilidad debe comprobarse en los equipos y puntos previstos, considerando los cambios que introduce el cifrado o la encapsulación.

La operación necesita horarios de soporte, contactos, escalamiento, mantenimiento y gestión de cambios. Debe quedar establecido quién puede autorizar una intervención y cómo se evaluará su

efecto en las aplicaciones. Cuando se requiera administración durante una falla de la red de producción, el diseño debe incluir un medio de acceso adecuado a ese escenario y comprobar sus propias dependencias.

2.9 Caso práctico de una aplicación y su respaldo

Retomemos una empresa que instalará una aplicación en colocation y copiará datos a otro sitio. El caso y todos sus umbrales son ficticios. El cliente necesita completar una copia de 2 TB decimales en un máximo de cuatro horas. Además, ha definido requisitos para la respuesta de su aplicación y para la recuperación ante una falla.

La propuesta inicial menciona un puerto de 10 Gb/s, pero el perfil contratado entre sitios es de 500 Mb/s. Aun suponiendo que toda esa tasa transportara datos útiles, mover 2 TB requeriría aproximadamente 8,89 horas. Ese perfil no cumple la ventana de cuatro horas. El dato determinante aparece al relacionar el servicio contratado con el trabajo que debe terminarse.

Para evaluar una alternativa de 2 Gb/s, el equipo usa inicialmente el supuesto didáctico de un 80 % de datos útiles y ninguna carga concurrente. La tasa útil resultante sería 1,6 Gb/s y el tiempo calculado, aproximadamente 2,78 horas. La estimación permite estudiar esa alternativa, pero la aceptación necesita una transferencia real con los extremos, datos y condiciones acordados.

Tabla 2.3. Caso práctico de una aplicación y su respaldo

Requisito del caso	Condición acordada	Evidencia de aceptación
Copia entre sitios	Transferir 2 TB decimales útiles en un máximo de cuatro horas.	Registro de inicio y fin, volumen recibido e integridad comprobada en destino.
Respuesta de aplicación	p99 de una operación definida igual o menor que 300 ms con 500 usuarios concurrentes.	Prueba de aplicación de 60 minutos; distribución de tiempos y registro separado de errores.
Falla de acceso	Recuperar la operación definida en un máximo de 60 segundos ante la pérdida de un acceso.	Evento controlado, marcas de tiempo, operaciones afectadas y confirmación de recuperación.
Operación por alternativa	Completar el respaldo en la misma ventana si solo queda disponible el acceso alternativo.	Repetición de la transferencia con ese acceso y la carga concurrente acordada.

Antes de ejecutar la prueba de aplicación deben fijarse la mezcla de operaciones, el ritmo de solicitudes, el periodo de preparación y la tasa de error admitida. El percentil se calculará sobre la población definida; las solicitudes fallidas o que agoten su tiempo de espera deben informarse para que no desaparezcan del análisis.

En este caso, los 60 segundos representan un requisito de recuperación de la operación observada ante un evento concreto. No deben presentarse automáticamente como el RTO de toda la empresa. Los objetivos de recuperación de datos y del conjunto del sistema deben acordarse por separado.

Si la copia sigue tardando más de cuatro horas, el diagnóstico debe revisar el perfil del servicio, la carga concurrente, la pérdida y el RTT, además de la lectura en origen, la escritura en destino y el

procesamiento de los equipos. Las mediciones en los límites de entrega permiten determinar dónde aparece la restricción y quién debe intervenir.

2.10 Preparar la ficha de requisitos verificables

La ficha debe permitir que cliente, data center, carrier e integradores trabajen sobre una misma definición del servicio. Cada requisito tendrá un identificador, su justificación, los extremos, la condición de operación, el umbral y la evidencia necesaria. También identificará quién lo solicita, quién lo implementa y quién lo acepta.

1. Aplicación y resultado esperado. Nombre del servicio, responsable del negocio, usuarios y operación que debe funcionar.
2. Extremos y dependencias. Ubicaciones, destinos, puntos físicos y lógicos de entrega, servicios externos y equipos participantes.
3. Tráfico y capacidad. Volumen, sentidos, simultaneidad, hora punta, ventana de transferencia, capacidad inicial y crecimiento.
4. Desempeño. Métrica, unidad, umbral, población de muestras, método, carga y periodo de evaluación.
5. Continuidad. Escenarios de falla, carga mínima conservada, tiempos de recuperación y objetivos relativos a los datos.
6. Seguridad e integración. Comunicaciones permitidas, segmentación, cifrado, interfaces y parámetros que deben ser compatibles.
7. Entrega y operación. Responsables, fecha requerida, condiciones previas, pruebas, documentos, soporte y escalamiento.

Cada dato debe indicar si fue aportado por el cliente, medido, calculado o supuesto. Los pendientes deben tener responsable y fecha de resolución. Al cambiar el volumen, el destino o la aplicación, corresponde revisar los requisitos afectados y conservar la versión aprobada para diseño y aceptación.

El requisito queda preparado para contratar cuando las partes entienden qué se entregará, en qué puntos y cómo se demostrará. Esta ficha acompañará las decisiones posteriores sobre operadores, interconexión, infraestructura y equipos. El capítulo 3 estudiará cómo el ecosistema de redes disponible en un data center permite construir esas alternativas de conexión.

Entrega del capítulo. Ficha con población métrica límite y condición de carga.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué operación del cliente debe funcionar y cómo se reconocerá un resultado satisfactorio?
2. ¿Están identificados los destinos, los sentidos del tráfico y los límites de entrega?
3. ¿La capacidad solicitada permite completar el trabajo dentro de su ventana, incluyendo las condiciones de contingencia?
4. ¿Los requisitos de latencia, variación, pérdida y throughput tienen una definición y un método de evaluación?
5. ¿Se han distinguido conmutación de red, recuperación de la aplicación y recuperación de datos?
6. ¿Quién implementa, mide y acepta cada requisito, y qué información falta para comprometerlo?

Capítulo 3 Ecosistemas de operadores e interconexión

Al terminar este capítulo, el lector podrá Distinguir operadores y servicios que hacen viable una conexión.

Términos esenciales. Tránsito = alcance IP contratado; peering = intercambio de rutas acordado.

Un cliente visita un data center que anuncia varios operadores, acceso a un punto de intercambio y conexiones con proveedores de nube. La oferta parece amplia. Sin embargo, cuando solicita instalarse, descubre que una conexión depende de transporte hacia otra ciudad, que el peering requiere habilitación y que todavía falta definir la entrega hasta su rack. Los participantes están identificados, pero el servicio necesita desarrollarse.

El ecosistema de interconexión reúne redes, plataformas y organizaciones que permiten construir esas conexiones. Su utilidad para el cliente depende de los destinos que alcanza, las condiciones para incorporarse y la capacidad de entregar y sostener los servicios. En este capítulo aprendemos a reconocer a los participantes, distinguir sus funciones y comprobar las alternativas que un data center puede ofrecer.

3.1 Reconocer a los participantes del ecosistema

Una misma organización puede desempeñar varias funciones. Un carrier puede proporcionar transporte, tránsito IP y acceso a nube. Un operador de data centers puede alojar equipos y prestar servicios de interconexión. Una red de contenido puede conectarse en varios edificios y puntos de intercambio. Para evaluar una oferta debemos identificar qué función cumple cada participante en el servicio concreto.

Tabla 3.1. Reconocer a los participantes del ecosistema

Participante	Función que puede aportar	Qué debemos comprobar
Operador del data center	Espacio, energía, recintos, distribución y conexiones internas según su oferta.	Alcance hasta el cliente, procedimientos, capacidad disponible y responsabilidades.
Carrier de transporte	Unir puntos mediante fibra, longitudes de onda, Ethernet u otros servicios.	Extremos, medio o servicio entregado, rutas, capacidad y dependencias.
Proveedor de tránsito IP	Ofrecer conectividad hacia otras redes de Internet conforme al servicio contratado.	Cobertura, capacidad, política de rutas, entrega y soporte.
IXP	Facilitar la interconexión entre sistemas autónomos participantes.	Modalidad de acceso, participantes relevantes, reglas y condiciones de peering.
Red de contenido o CDN	Distribuir contenido mediante una infraestructura y políticas propias.	Contenido servido, usuarios alcanzados, forma de interconexión y capacidad.
Proveedor de nube	Prestar recursos y servicios accesibles mediante distintas modalidades de conexión.	Servicio y región de destino, interfaz, autorizaciones y alcance contratado.

Participante	Función que puede aportar	Qué debemos comprobar
Plataforma de interconexión	Habilitar conexiones entre participantes mediante su infraestructura.	Puertos, conexiones virtuales, destinos, capacidad compartida y límites operativos.

Un sistema autónomo, o AS, es una red o conjunto de redes bajo una política de enrutamiento definida. Su número identificador, ASN, permite reconocerlo en las relaciones de enrutamiento entre sistemas autónomos. Esta perspectiva será útil al estudiar peering, tránsito y anuncios de rutas.

El cliente que contrata un servicio gestionado puede delegar parte de esa operación en su proveedor. Por eso, antes de exigir un ASN o una sesión BGP propia, debemos identificar quién opera la red que participará en el intercambio. BGP es el protocolo utilizado habitualmente para comunicar información de alcance entre esos sistemas; su configuración se desarrollará en capítulos posteriores. [14]

3.2 Evaluar la neutralidad frente a operadores

En este libro entenderemos la neutralidad frente a operadores como la posibilidad de elegir e incorporar proveedores bajo condiciones conocidas de acceso e interconexión. Su evaluación necesita observar las reglas y los procedimientos del campus, además de la oferta anunciada.

Debemos conocer si un cliente puede solicitar el ingreso de un nuevo operador, qué requisitos debe cumplir y cómo se asignan espacio, energía, canalizaciones y terminaciones. También deben revisarse los cargos de conexión, las autorizaciones, los horarios de intervención y la capacidad de ampliación. Una posibilidad comercial necesita un procedimiento que permita ejecutarla.

La neutralidad debe examinarse junto con las opciones efectivas de entrega. Un campus puede admitir nuevos carriers y requerir obras para recibirlos. Otro puede contar con operadores instalados, pero tener restricciones de puertos o distribución interna. El catálogo debe declarar esas condiciones para que el cliente pueda comparar plazos y alcances.

La variedad de proveedores ayuda cuando responde a destinos y necesidades diferentes, permite evaluar alternativas y facilita la incorporación de clientes. La cantidad de marcas debe acompañarse de información sobre servicios, puntos de entrega y capacidad comprobada. Esa información permite evaluar la elección real que tendrá el cliente.

3.3 Distinguir transporte y tránsito IP

El transporte une puntos definidos. Puede entregarse como fibra oscura, una longitud de onda o un servicio Ethernet, entre otras modalidades. En fibra oscura, el usuario o su proveedor debe resolver la transmisión óptica; en un servicio activo, el alcance de equipos y operación depende de lo contratado. En todos los casos hay que precisar los extremos y las responsabilidades.

El tránsito IP ofrece una relación de conectividad hacia otras redes de Internet. El proveedor propaga y recibe rutas según su política y el servicio contratado. La Internet Society distingue esa compra de conectividad de las relaciones de peering entre redes. Una red puede combinar tránsito con otros acuerdos de interconexión. [15]

Un circuito Ethernet hacia una ciudad puede utilizarse para llegar a un proveedor de tránsito, a un IXP o a un punto de acceso a nube. El circuito es una parte de cada solución. Los servicios y acuerdos necesarios en el extremo remoto deben identificarse por separado.

Al comparar carriers debemos preguntar qué destino resuelve cada oferta, dónde se entrega y qué equipos participan. Si se necesita independencia entre caminos, debemos revisar también los tramos arrendados, los nodos y los accesos compartidos. La diversidad comercial entre proveedores debe relacionarse con la evidencia de sus recorridos y dependencias.

3.4 Comprender el peering y los puntos de intercambio

El peering es una relación mediante la cual dos redes acuerdan intercambiar determinados tráficos. El alcance depende de las rutas anunciadas y aceptadas y de las políticas de las partes. Puede establecerse mediante una interconexión privada entre redes, conocida como PNI, o mediante infraestructura compartida en un IXP. Las condiciones económicas deben verificarse: un acuerdo sin pago por el tráfico conserva costos de puertos, transporte, equipos y operación. [15]

La Internet Exchange Federation define un IXP como una infraestructura que permite interconectar más de dos sistemas autónomos independientes para facilitar el intercambio de tráfico. Distingue esa función del acceso a Internet y del tránsito. El operador de un IXP puede ofrecer otros productos, que deben identificarse por su alcance particular. [16]

Conectarse al IXP proporciona acceso a su infraestructura bajo sus reglas. Para intercambiar tráfico deben estar habilitadas las relaciones de enrutamiento que correspondan. No todos los participantes tienen la misma política ni necesariamente anuncian los mismos destinos a todos los demás.

El peering bilateral establece sesiones entre las redes participantes. El peering multilateral puede apoyarse en route servers, que distribuyen información de rutas de acuerdo con su configuración. RFC 7947 explica que el route server intercambia esa información y no reenvía el tráfico de los usuarios. La función de control debe distinguirse del camino que siguen los datos. [14]

El acceso a un IXP también puede ser remoto. En ese caso, una red llega mediante transporte o una plataforma hasta el punto de intercambio. DE-CIX documenta esta modalidad en su servicio GlobePEER Remote. La evaluación del cliente debe incorporar los tramos, equipos y proveedores necesarios para alcanzar el intercambio. [17]

Para estimar el valor de un IXP debemos identificar qué redes relevantes participan, cuáles permitirán intercambiar el tráfico del cliente y qué capacidad habrá para hacerlo. El beneficio esperado debe comprobarse sobre destinos y condiciones de uso. La mera pertenencia al punto de intercambio no fija por sí sola la latencia, la capacidad útil ni la continuidad.

3.5 Identificar el alcance de una CDN

Una red de distribución de contenido, o CDN, utiliza infraestructura distribuida para acercar y entregar los contenidos que presta. Su ubicación y sus relaciones con las redes de acceso influyen en el recorrido utilizado por los usuarios. El análisis debe identificar qué contenido se servirá y a qué audiencia.

Netflix Open Connect ofrece un ejemplo concreto: combina interconexión con redes de acceso y despliegues de equipos de contenido dentro de redes de proveedores. Su documentación contempla peering privado y mediante IXP. Estas modalidades pertenecen a su sistema de distribución y tienen condiciones propias. [18]

Una caché local necesita alimentación, espacio, conexión y capacidad para recibir o actualizar contenido. También requiere políticas para dirigir hacia ella el tráfico pertinente y alternativas cuando

no pueda atenderlo. La demanda de actualización y la de entrega a usuarios deben incorporarse a la planificación.

La aceptación debe observar el servicio de contenido previsto. Netflix advierte que la conectividad con su página web no representa necesariamente la conectividad con su sistema de entrega de contenido. Este ejemplo muestra por qué los destinos y procedimientos de prueba deben acordarse con el proveedor correspondiente. [19]

3.6 Precisar el acceso a nube y a plataformas de interconexión

La expresión cloud on-ramp se utiliza para describir un punto o mecanismo de acceso a servicios de nube. En cada oferta debemos identificar el proveedor, la ubicación de interconexión, el transporte hasta ella y el recurso de destino. El nombre comercial debe acompañarse de un recorrido y un alcance de servicio.

AWS Direct Connect permite establecer conexiones e interfaces virtuales para acceder a distintos recursos de AWS según la modalidad utilizada. Su documentación distingue la conexión física y las interfaces virtuales. Esa separación ayuda a comprobar qué elementos están habilitados y cuáles siguen pendientes. [20]

Microsoft distingue las ubicaciones de peering de ExpressRoute de las regiones donde se alojan recursos de Azure. La ubicación de interconexión es un punto de entrada a su red y no tiene que coincidir con la región de destino. El cliente debe identificar ambas y verificar el alcance de la modalidad contratada. [21]

Cuando el servicio utiliza una plataforma de interconexión, debemos distinguir el puerto de acceso y las conexiones virtuales que se crean sobre ella. Equinix Fabric, por ejemplo, documenta puertos y conexiones hacia proveedores o entre instalaciones. Deben revisarse la capacidad del acceso, las conexiones simultáneas y las condiciones de cada destino. [22]

También debe precisarse la protección de la información. AWS declara que Direct Connect no cifra por defecto el tráfico en tránsito y describe opciones de cifrado. La solución debe indicar dónde comienza y termina la protección requerida y quién la opera. El carácter privado de una conexión no resuelve por sí solo ese requisito. [23]

El expediente debe incluir la cuenta o entidad autorizada, el servicio y región de destino, las interfaces, la configuración, los límites de capacidad y las alternativas ante una falla. Las condiciones y cargos del acceso, el transporte y el proveedor de nube deben revisarse en conjunto, con sus responsabilidades de soporte.

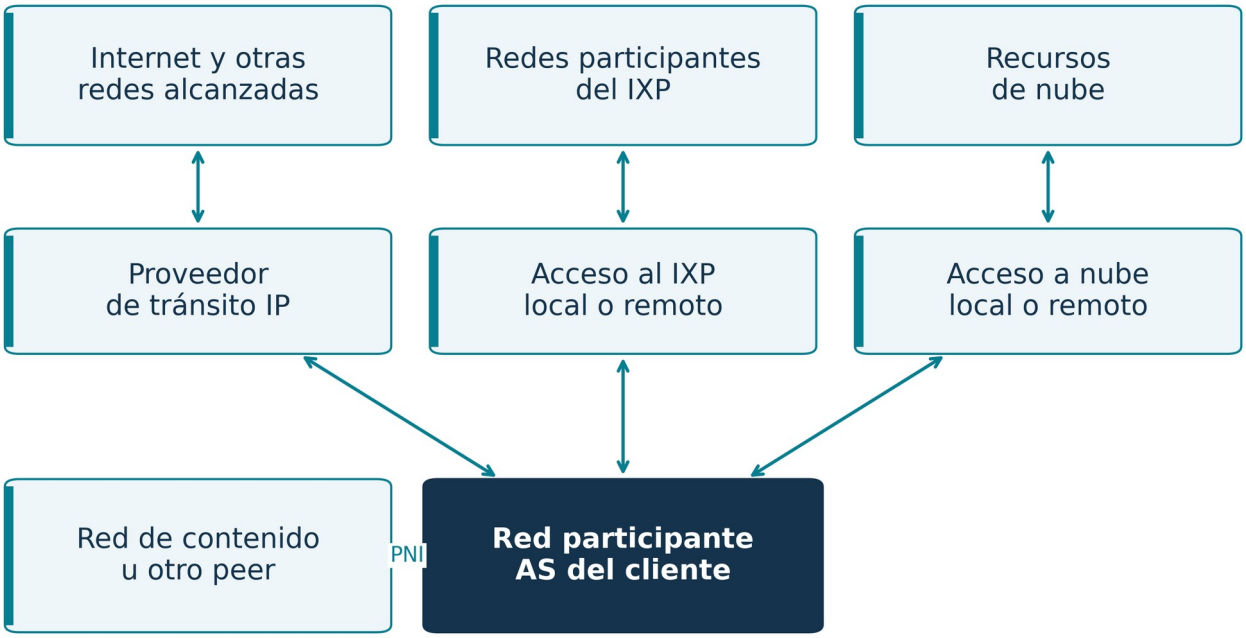


Figura 3.1. Relaciones lógicas de interconexión para una red con AS propio. Elaboración propia. Cada alternativa requiere habilitación y políticas. Las líneas no acreditan diversidad física.

La figura representa relaciones posibles para una red que opera su propio AS. Los proveedores gestionados pueden asumir parte de esas funciones para sus clientes. El dibujo es lógico: cada alternativa puede requerir equipos y tramos locales o remotos que deben documentarse. Las conexiones mostradas no acreditan rutas físicamente independientes.

3.7 Facilitar la incorporación de operadores y clientes

La incorporación comienza al comprobar que existe una demanda y que el servicio puede resolverse en los extremos previstos. El operador del campus debe disponer de un procedimiento para recibir solicitudes, evaluar recursos y coordinar con el carrier, la plataforma y el cliente.

El procedimiento debe identificar las entradas autorizadas, las canalizaciones y su ocupación, el espacio disponible en MMR, los paneles y los puntos de entrega. Cuando se instalen equipos, deben revisarse alimentación, condiciones ambientales, acceso y crecimiento. Las reservas deben tener responsables y fechas para evitar comprometer dos veces un mismo recurso.

La orden de conexión debe especificar extremos, puertos, medio y autorizaciones. Algunas organizaciones utilizan documentos de autorización y asignación para coordinar sus conexiones; la denominación y los requisitos dependen del proveedor. El objetivo es que todas las partes trabajen sobre la misma identificación de los extremos.

La secuencia continúa con instalación, comprobación física, configuración y aceptación del servicio. DE-CIX publica un procedimiento que pasa por comprobaciones ópticas y pruebas del puerto antes de activar el peering. Es un ejemplo de cómo el ingreso a una plataforma requiere verificar condiciones técnicas además de formalizar un pedido. [24]

La fecha de entrega debe considerar las tareas que dependen de otras y las que pueden ejecutarse en paralelo. La instalación de una cross connect no completa una solución que todavía necesita transporte

remoto, autorización del proveedor de nube o configuración de los equipos. Cada dependencia debe figurar en el calendario y tener una contraparte asignada.

3.8 Comprobar la disponibilidad de cada alternativa

El inventario necesita separar presencia, factibilidad, contratación y operación aceptada. Para cada alternativa debemos registrar la instalación concreta, el proveedor, el servicio, la capacidad y el punto de entrega, junto con la fecha y el origen de la información. Una presencia declarada a escala de ciudad debe verificarse en el campus que evalúa el cliente.

PeeringDB es una base de datos de interconexión mantenida por sus usuarios. Resulta útil para localizar redes, instalaciones, puntos de intercambio y políticas declaradas. Es un punto de partida para investigar: la factibilidad, el puerto disponible, las condiciones comerciales y la fecha de entrega deben confirmarse con las contrapartes. [25]

Los directorios, portales y datos de enrutamiento responden preguntas distintas. Un registro orienta sobre presencia; una sesión BGP muestra intercambio de información de rutas; una medición caracteriza un alcance bajo condiciones determinadas. Para presentar una alternativa como entregable debemos reunir la evidencia que corresponda al servicio completo.

Tabla 3.2. Comprobar la disponibilidad de cada alternativa

Alternativa	Comprobación necesaria	Evidencia que debe conservarse
Tránsito IP	Entrega contratada, rutas y tráfico hacia destinos representativos acordados.	Configuración relevante, mediciones, alcance de soporte y aceptación.
Peering e IXP	Acceso activo, relaciones habilitadas, prefijos aceptados y tráfico bidireccional previsto.	Estado de sesiones, políticas aplicadas y resultados sobre los destinos elegidos.
CDN	Entrega efectiva del contenido y comportamiento para la audiencia prevista.	Procedimiento acordado, destinos de contenido, resultados y condiciones de prueba.
Acceso a nube	Comunicación hasta los recursos autorizados y operación por la alternativa prevista.	Servicio y región, configuración, pruebas y responsabilidades por tramo.

La redundancia necesita una comprobación adicional. Dos servicios pueden depender del mismo puerto, plataforma o transporte remoto. El plano físico y la revisión de dependencias deben relacionarse con pruebas de contingencia autorizadas. Un traceroute aporta observaciones sobre el recorrido lógico visible y no demuestra independencia de ductos, cámaras o edificios.

Después de la aceptación, el catálogo debe actualizarse cuando cambien puertos, capacidad, rutas o condiciones. La fecha de una revisión permite distinguir una alternativa comprobada recientemente de una referencia que necesita volver a validarse.

3.9 Caso práctico de un campus con varios operadores anunciados

Consideremos un caso ficticio. Un campus anuncia cuatro operadores, acceso a un IXP y conexión a nube. Un cliente necesita acceso a Internet, intercambio con una red de contenido y conexión privada a un recurso de nube en una región definida. Solicita además una alternativa ante la falla de un acceso.

La revisión encuentra que dos operadores tienen equipos en el edificio; un tercero llega mediante infraestructura de uno de ellos; el cuarto cuenta con una propuesta de ingreso todavía pendiente de obras. El acceso al IXP es remoto y utiliza el mismo transporte que una de las ofertas de nube. Esta información modifica la evaluación de las opciones y sus dependencias.

Para el acceso a Internet se solicitan ofertas con extremos y capacidad comparables. Para el contenido se confirma qué red lo servirá y bajo qué relación de peering. Para la nube se identifica el punto remoto de interconexión, la región y los recursos autorizados. La alternativa ante fallas debe revisarse sobre esos mismos recorridos.

Supongamos que una solución requiere siete días hábiles para habilitar transporte. La cross connect tarda cuatro días adicionales una vez disponible ese transporte y las autorizaciones; la configuración y aceptación requieren otros dos días. Si esas tareas son secuenciales, el plazo es de trece días hábiles. Los plazos son didácticos. Las actividades que puedan ejecutarse en paralelo deben representarse como tales, con sus dependencias reales.

El campus puede presentar entonces un catálogo que identifique qué está disponible, qué requiere habilitación y qué depende de obra. La propuesta al cliente incorpora los servicios necesarios y sus plazos, junto con las pruebas que demostrarán su entrega. Las marcas anunciadas quedan respaldadas por alternativas cuya utilidad puede evaluarse.

Una falla frecuente sería activar únicamente el puerto físico y declarar listo el peering. Si el tráfico no circula, el diagnóstico debe comprobar la relación habilitada, los prefijos anunciados y aceptados, las políticas y la capacidad del acceso. La señal óptica, la sesión de enrutamiento y la entrega del tráfico son comprobaciones relacionadas con alcances distintos.

3.10 Preparar el catálogo de interconexión del campus

El resultado del capítulo será un catálogo que relacione los requisitos de los clientes con las alternativas del ecosistema. Cada entrada debe permitir determinar qué servicio puede construirse, con quién, en qué puntos y bajo qué condiciones.

1. Participante y función. Organización, red o plataforma, servicio ofrecido y contactos de provisión y operación.
2. Ubicación y recorrido. Edificio, MMR, panel o puerto; interconexiones locales o remotas y tramos necesarios.
3. Destino y alcance. Redes, contenidos, regiones o recursos accesibles y condiciones para habilitarlos.
4. Capacidad y crecimiento. Puertos y perfiles disponibles, recursos compartidos, restricciones y ampliaciones.
5. Estado y fecha. Presencia declarada, factibilidad confirmada, contratación, instalación o aceptación documentada.
6. Provisión y responsabilidades. Obras, autorizaciones, pedidos, dependencias, plazos y responsable de cada tramo.
7. Continuidad y evidencia. Dependencias compartidas conocidas, alternativas, resultados de prueba y condiciones pendientes.

Para evaluar el atractivo del campus conviene observar cuántas necesidades de sus clientes puede resolver, cuánto tarda en habilitarlas y qué evidencia conserva. También interesa conocer qué

capacidad podrá ampliarse y qué ocurrirá ante una falla. Estos datos permiten incorporar la conectividad a una propuesta comercial con compromisos identificables.

El ecosistema necesita coordinación durante su incorporación y su operación. El capítulo 4, Dirección y gobierno de la conectividad, desarrollará cómo distribuir esa responsabilidad entre comercial, ingeniería, construcción y operación, y cómo trabajar con especialistas, consultorías y proveedores externos.

Entrega del capítulo. Catálogo de presencia factibilidad y provisión por destino.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué función cumple cada participante y qué servicio aporta al recorrido del cliente?
2. ¿Puede el cliente incorporar o elegir operadores mediante condiciones y procedimientos conocidos?
3. ¿Se han distinguido transporte, tránsito IP, peering, CDN y acceso a nube?
4. ¿Las conexiones con IXP y nube son locales o remotas y qué dependencias comparten?
5. ¿Qué falta para pasar de una presencia declarada a un servicio habilitado y aceptado?
6. ¿El catálogo permite sostener los plazos y compromisos que se presentan al cliente?

Capítulo 4 Dirección y gobierno de la conectividad

Al terminar este capítulo, el lector podrá Asignar autoridad y responsables de las decisiones de conectividad.

Términos esenciales. Gobierno = atribuciones y reglas de decisión; integrador = responsable de reunir alcances.

Durante la construcción de un campus se propone cambiar un trazado de fibra para evitar una interferencia. La solución facilita la obra, pero hace que dos accesos previstos como independientes compartan una cámara. El cambio puede ser correcto desde la ejecución civil y alterar, al mismo tiempo, la continuidad comprometida al cliente. Este ejemplo hipotético muestra por qué la conectividad necesita una revisión que relacione las decisiones de distintas áreas.

El gobierno de la conectividad establece quién decide, con qué autoridad, sobre qué información y cómo se conserva la evidencia. La dirección de esa función coordina requisitos, infraestructura, proveedores y operación para que los compromisos puedan cumplirse. Este capítulo propone una organización adaptable a cada proyecto, con responsabilidades por etapa y una contraparte capaz de integrar el trabajo propio y externo.

4.1 Definir qué decisiones deben gobernarse

La conectividad reúne decisiones de inversión, diseño, provisión y servicio. Debemos decidir qué destinos atender, qué infraestructura habilitar, qué alternativas contratar, cuándo prometer una entrega y cómo comprobarla. Después será necesario controlar cambios, ampliaciones, mantenimiento y recuperación ante fallas.

Para cada decisión debemos conocer el alcance, las personas que aportan información y la autoridad que la resuelve. También debe quedar establecido qué ocurre si faltan antecedentes o si las áreas tienen prioridades incompatibles. El costo, el plazo y la continuidad pueden verse afectados por una misma modificación.

La metodología PM^2 de la Comisión Europea vincula la gobernanza del proyecto con roles, responsabilidades y autoridad para decidir. También organiza revisiones antes de avanzar entre fases. Utilizamos esos principios como referencia para estructurar decisiones de conectividad, adaptándolos a los participantes y al alcance del proyecto. [26]

El gobierno debe abarcar el recorrido que la organización necesita coordinar y reconocer los límites de su control. Un data center puede administrar su distribución interna y depender de un carrier para el transporte exterior. La coordinación necesita integrar ambos alcances, conservar sus demarcaciones y establecer cómo se atiende un problema que los atraviese.

4.2 Establecer una función responsable de la conectividad

El propietario o promotor debe designar una función que mantenga la visión del servicio completo. En este libro la llamaremos responsable de conectividad. Su cometido es relacionar requisitos del cliente, diseño, compromisos de proveedores y condiciones de operación, y llevar las decisiones pendientes a la autoridad correspondiente.

La función puede integrarse en una dirección de redes, infraestructura digital, ingeniería o servicios. En una organización pequeña, una persona puede coordinar varios ámbitos con especialistas externos.

Una cartera de campus o una operación compleja puede requerir equipos diferenciados. La estructura debe corresponder a la carga de trabajo, las competencias y la cobertura requerida.

El mandato debe definir qué información puede solicitar, qué revisiones coordina y qué conformidad debe obtenerse antes de ofertar, construir o activar. También debe establecer sus límites de gasto y aprobación, las materias que debe escalar y quién lo reemplaza durante una ausencia. Una responsabilidad sin atribuciones ni recursos deja decisiones sin resolver.

La persona que coordina necesita comprender las relaciones entre rutas, MMR, cross connects, transmisión, redes y aplicaciones. Debe saber formular requisitos, revisar evidencia y reconocer cuándo necesita un especialista. Los cálculos, diseños y pruebas particulares deben asignarse a profesionales competentes en cada materia.

La organización también necesita suplencia, documentación y acceso compartido conforme a las funciones autorizadas. La continuidad del servicio no debe depender de que una sola persona recuerde un trazado o esté disponible a cualquier hora.

NIST CSF 2.0 incorpora, en el ámbito de la ciberseguridad, resultados relativos a establecer y comunicar roles, responsabilidades, autoridad y recursos. Ese marco ayuda a integrar las decisiones de seguridad de la red en el gobierno del servicio. La distribución de funciones que proponemos aquí es una adaptación de trabajo para conectividad, no una estructura organizacional prescrita por NIST. [27]

4.3 Relacionar comercial e ingeniería con construcción y operación

Las áreas participan con objetivos distintos. Comercial necesita responder al cliente; ingeniería debe definir una solución comprobable; construcción necesita ejecutarla; operación debe poder sostenerla. La coordinación debe mantener visibles los requisitos y las consecuencias de cada decisión.

Tabla 4.1. Relacionar comercial e ingeniería con construcción y operación

Función	Responsabilidad principal	Relación que debe conservar
Propietario o gerencia	Definir prioridades, recursos y límites de decisión.	Resolver inversiones y riesgos que superen las atribuciones delegadas.
Comercial	Identificar la necesidad y preparar compromisos con el cliente.	Validar alcance, factibilidad, plazos y condiciones antes de comprometerlos.
Responsable de conectividad	Integrar requisitos, alternativas y decisiones entre participantes.	Mantener coherencia entre oferta, diseño, construcción, entrega y operación.
Ingeniería	Desarrollar y revisar diseños, especificaciones y criterios de prueba.	Documentar demarcaciones, dependencias y efectos de las modificaciones.
Proyecto y construcción	Planificar y ejecutar trabajos, coordinando recursos y contrapartes.	Construir conforme al diseño vigente y tramitar desviaciones antes de ejecutarlas.
Operación	Preparar y sostener el servicio, atender eventos y gestionar intervenciones.	Participar en diseño y aceptación y mantener actualizada la información operativa.

Compras y administración contractual deben asegurar que pedidos, entregables y obligaciones reflejen la solución aprobada. Seguridad debe participar en accesos, segmentación, protección y cambios

pertinentes. Finanzas aporta la evaluación económica; las áreas responsables de permisos y derechos de uso deben resolver los antecedentes que correspondan al trazado y al emplazamiento.

Uptime Institute incluye organización, dotación, formación y planificación entre sus criterios de gestión y operación de data centers, y destaca la definición de responsabilidades. Estos criterios respaldan la necesidad de preparar a las personas y los procesos junto con la infraestructura. No determinan por sí solos un cargo único para dirigir la conectividad. [28]

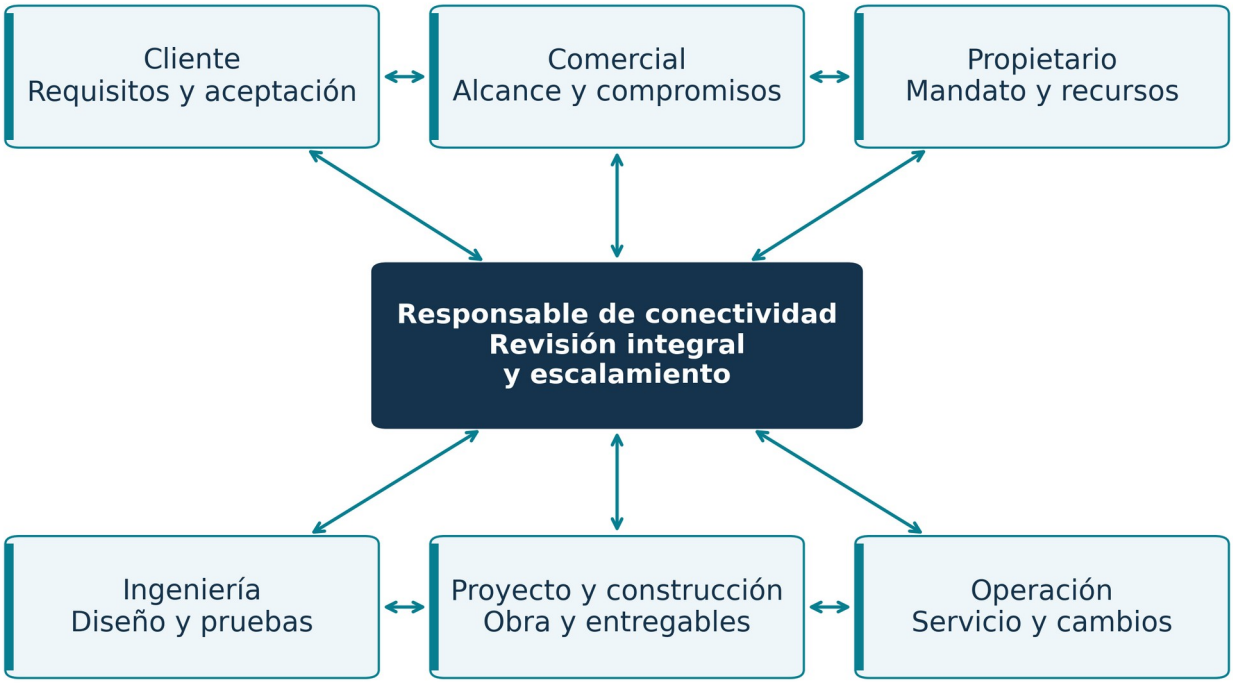


Figura 4.1. Relaciones de coordinación entre funciones. Elaboración propia. Las flechas representan intercambio y revisión; la autoridad formal debe definirse en el mandato del proyecto.

El esquema representa coordinación entre funciones, no una cadena obligatoria de reporte. El propietario debe establecer la autoridad formal y cada participante externo debe tener una contraparte identificada. Las revisiones técnicas y operativas deben llegar a la decisión comercial o de inversión que puedan afectar.

4.4 Asignar responsabilidades durante todo el ciclo de vida

La función responsable debe comenzar cuando se evalúa el emplazamiento. En esa etapa todavía es posible comparar accesos y dependencias antes de fijar compromisos difíciles de modificar. Durante el diseño debe relacionar las decisiones de red con espacio, energía, construcción y demanda de clientes.

La participación de operación debe iniciarse antes de la entrega. Sus necesidades de acceso, identificación, monitorización, repuestos y mantenimiento pueden afectar el diseño. Si se conocen tarde, su incorporación puede exigir cambios en infraestructura ya construida.

Tabla 4.2. Asignar responsabilidades durante todo el ciclo de vida

Etapa	Decisión que debe resolverse	Evidencia para avanzar
Emplazamiento y requisitos	Qué demanda atender y qué alternativas merecen desarrollarse.	Destinos, requisitos iniciales, factibilidad, dependencias y pendientes identificados.
Diseño y contratación	Qué solución ejecutar y qué compromisos asumir.	Diseño revisado, alcances comparables, demarcaciones, permisos y calendario de provisión.
Construcción e instalación	Si lo ejecutado corresponde a la versión autorizada.	Inspecciones, registros de instalación y cambios aprobados con su impacto.
Pruebas y entrega	Si el alcance cumple los criterios acordados y puede recibirse.	Resultados trazables, documentación de lo instalado y pendientes clasificados.
Operación	Cómo sostener condiciones y responder a eventos.	Inventario vigente, procedimientos, contactos, cobertura y registro de cambios.
Ampliación o renovación	Qué debe modificarse para la demanda y condiciones futuras.	Tendencias, capacidad, cambios de destino, costos y revisión de dependencias.

Cada revisión debe terminar con una decisión registrada: avanzar, corregir, ampliar la evaluación o reformular el alcance. Los pendientes necesitan responsable y fecha. Una condición que afecta un requisito obligatorio debe resolverse con la autoridad y las contrapartes pertinentes antes de declarar cumplida la entrega.

La aceptación técnica, la recepción para operar y la aceptación del cliente pueden corresponder a actos distintos. Deben relacionarse para evitar que un tramo aprobado por un proveedor se interprete como aceptación del servicio completo.

4.5 Distinguir ejecución y aprobación

Una matriz de responsabilidades ayuda cuando se utiliza sobre decisiones concretas. Podemos emplear R para quien prepara o ejecuta el trabajo, A para la autoridad que aprueba y responde por la decisión, C para quienes deben ser consultados e I para quienes necesitan recibir información. Son convenciones que deben explicarse a los participantes.

Para el modelo de este capítulo asignaremos una autoridad de aprobación interna por decisión, dentro de sus atribuciones. Cuando una materia requiera varias aprobaciones diferentes, conviene separarlas en decisiones identificables. Las contrapartes externas conservan sus propias autorizaciones y aceptaciones.

Tabla 4.3. Distinguir ejecución y aprobación

Decisión	Quién prepara o ejecuta R	Quién aprueba A
Diseño de rutas y demarcaciones	Ingeniería reúne trazados, dependencias y revisión de operación.	La autoridad técnica designada por el propietario.
Compromiso comercial	Comercial integra la oferta y obtiene validación técnica y de provisión.	Quien tenga atribuciones para comprometer alcance, fecha y condiciones.

Decisión	Quién prepara o ejecuta R	Quién aprueba A
Cambio durante la obra	El gestor del proyecto tramita la propuesta y sus evaluaciones de impacto.	La autoridad definida según el efecto técnico, económico o contractual.
Recepción técnica para operación	El equipo de aceptación reúne pruebas y operación verifica que puede recibir el alcance.	El responsable de recepción designado, con las conformidades requeridas.

La ficha completa añadirá los consultados y los informados. Por ejemplo, cambiar una entrada de fibra puede requerir consultar a operación, seguridad, construcción y al carrier. Aprobar la ejecución civil no sustituye las otras decisiones si se alteran los compromisos de servicio.

La validación debe incluir una revisión distinta de la mera declaración del ejecutor. Según la complejidad y el riesgo, puede realizarla otro especialista, el equipo del propietario o una contraparte independiente. Debe quedar claro quién produjo la evidencia, quién la revisó y quién aceptó el resultado.

4.6 Combinar equipo propio y servicios externos

El equipo propio conserva conocimiento del proyecto y puede mantener continuidad entre etapas. Las consultorías aportan capacidades especializadas o revisión independiente. Los servicios externos pueden ejecutar obras, pruebas y operación bajo alcances definidos. La elección debe responder a los trabajos necesarios y a la capacidad de integrarlos.

En un estudio puntual puede ser suficiente una contraparte interna que coordine especialistas por entregable. Un programa con varios emplazamientos puede necesitar una función dedicada y apoyo por disciplinas. Una operación continua requiere cobertura, suplencia y escalamiento que deben dimensionarse específicamente.

La comparación debe considerar experiencia, carga de trabajo, disponibilidad, continuidad del conocimiento y acceso a información. También debe incluir el esfuerzo del propietario para preparar encargos, responder consultas, coordinar interfaces y revisar entregables. Esos trabajos forman parte del modelo elegido.

Cada encargo debe fijar objetivo, extremos, supuestos, información de entrada, formato de entrega y criterios de aceptación. Debe indicar cómo se entregarán los archivos editables, trazados, registros de medida y documentación necesaria para continuar el trabajo. Las restricciones de acceso o uso deben conocerse antes de depender de esos antecedentes.

Aunque la ejecución se contrate externamente, el propietario necesita una contraparte que pueda evaluar sus resultados y relacionarlos con los demás contratos. Esa función puede apoyarse en especialistas y delegaciones explícitas; debe conservarse la capacidad de decidir sobre prioridades y aceptar los compromisos propios del proyecto.

4.7 Gestionar contrapartes y demarcaciones

Cada organización participante debe tener una contraparte comercial, técnica y operativa cuando el servicio lo requiera. Es posible que una misma persona cubra varias funciones, pero los contactos y su autoridad deben conocerse. También deben establecerse suplentes y mecanismos de escalamiento.

Con el carrier deben coordinarse factibilidad, extremos, recorridos, capacidad, permisos de intervención, pruebas y atención de incidentes. Con los titulares de infraestructura y las autoridades competentes deben verificarse los antecedentes y autorizaciones aplicables a la obra. La asignación de quién los tramita debe figurar en el plan.

Con el cliente debemos acordar requisitos, equipos propios, puntos de entrega, accesos y procedimientos de aceptación. Si interviene una plataforma o proveedor de nube, deben identificarse las autorizaciones, configuraciones y comprobaciones que dependen de esa contraparte.

Cada interfaz necesita una descripción que pueda seguirse: dónde entrega una parte, dónde recibe la otra, qué condición debe existir y quién resuelve el tramo intermedio. Un panel, una fibra o una interfaz virtual debe poder relacionarse con el servicio y con sus responsables.

Las reuniones deben producir acuerdos utilizables. Conviene registrar la decisión, el documento afectado, el responsable y la fecha de cumplimiento. Una conversación que cambia un alcance debe trasladarse al registro correspondiente y obtener las conformidades necesarias.

4.8 Mantener la evidencia y la configuración de referencia

El expediente de conectividad debe relacionar requisitos, planos, servicios contratados, activos y resultados de prueba. Cada circuito o conexión necesita una identificación que permita localizar sus extremos, equipos y responsables sin depender de nombres informales.

La configuración de referencia reúne lo revisado y aprobado en un momento determinado. NIST define este concepto mediante especificaciones acordadas que se modifican bajo control de cambios; SP 800-128 desarrolla su aplicación a la gestión de configuración centrada en seguridad. Adoptaremos esa disciplina para conservar la referencia física y lógica de la conectividad. [29]

Deben distinguirse el diseño aprobado, lo efectivamente instalado y el estado operativo vigente. Los planos de lo construido, las asignaciones de fibras y puertos y las configuraciones deben concordar con la entrega. Cuando exista una diferencia, el expediente debe mostrar su origen, estado y decisión de resolución.

Los resultados de prueba deben conservar extremos, instrumentos o herramientas, configuración, fecha, condiciones y archivos originales cuando correspondan. El registro debe permitir relacionar cada resultado con el requisito que se evaluó. Las conclusiones de aceptación deben identificar la evidencia revisada y sus limitaciones.

La información necesita permisos de acceso, respaldo y control de versiones. Las rutas y configuraciones deben estar disponibles para quienes intervienen conforme a sus funciones; las credenciales requieren mecanismos de custodia específicos. El propietario debe poder recuperar y utilizar los antecedentes necesarios aunque cambie el proveedor o el equipo encargado.

4.9 Coordinar cambios e incidentes

Toda propuesta de cambio debe describir el motivo, el alcance afectado y la diferencia respecto de la referencia vigente. Su evaluación debe considerar destinos, capacidad, continuidad, seguridad, mantenimiento y compromisos con clientes, además de costo y plazo.

Antes de intervenir deben definirse quién autoriza, quién ejecuta, qué condiciones deben existir, cómo se comprobará el resultado y qué se hará si no es satisfactorio. Cuando corresponda, debe prepararse

una reversión viable y un punto de decisión para aplicarla. El cierre incluye actualizar la documentación y confirmar que las condiciones del servicio se conservan.

Los cambios de emergencia necesitan atribuciones y procedimientos establecidos de antemano. La urgencia debe gestionarse con registro de acciones, coordinación y revisión posterior. Una solución temporal que altera una ruta o una configuración debe quedar identificada hasta su normalización.

Durante un incidente conviene separar coordinación, ejecución técnica y comunicación. Google describe esas funciones mediante Incident Commander, Operations Lead y Communications Lead. Su experiencia sirve como ejemplo para organizar la respuesta con varias áreas y proveedores; los nombres y la distribución deben adaptarse al servicio. [30]

El coordinador mantiene la situación y las prioridades; los equipos técnicos actúan dentro de sus ámbitos; la comunicación informa sobre impacto y evolución. Los relevos deben transmitir el estado, las acciones realizadas y las siguientes decisiones. Después de recuperar el servicio deben revisarse causas, cambios temporales y medidas pendientes, con responsables de cierre.

4.10 Caso práctico de un cambio que afecta dos rutas

Retomemos el caso ficticio del comienzo. Un cliente requiere dos accesos físicamente independientes dentro del alcance definido para el proyecto. El diseño identifica rutas A y B, entradas y MMR diferentes. Durante la obra se propone utilizar una cámara existente para evitar una interferencia y simplificar un tramo.

El gestor del proyecto registra la propuesta. Ingeniería compara el trazado nuevo con el aprobado y detecta que A y B compartirían la cámara. Operación evalúa qué servicios quedarían afectados por una intervención o una falla en ese recurso. Comercial confirma que la independencia forma parte del compromiso con el cliente.

La revisión debe determinar si el nuevo diseño cumple el requisito y qué alternativas existen. La autoridad técnica no puede declarar equivalente una solución que introduce una dependencia incompatible con lo acordado. Si se plantea modificar el compromiso, deben intervenir las personas con atribuciones y las contrapartes afectadas antes de cambiar el alcance.

Supongamos que se elige un trazado alternativo que conserva la independencia exigida. La decisión actualiza el plano, el calendario, los trabajos y las pruebas afectadas. Construcción recibe la versión autorizada y operación incorpora el recorrido que deberá mantener. La aprobación y su fundamento quedan vinculados al cambio.

La aceptación debe comprobar lo instalado y su correspondencia con el diseño. Las mediciones ópticas pueden ser satisfactorias aunque dos rutas compartan una cámara. Por eso deben combinarse las pruebas del medio con la revisión del recorrido, las inspecciones y los escenarios de contingencia pertinentes. Desconectar un puerto no acredita, por sí solo, el comportamiento ante la pérdida de un recurso físico compartido.

La falla de gobierno aparecería si el cambio se ejecutara como una decisión civil aislada y el expediente siguiera mostrando dos rutas independientes. El diagnóstico debe contrastar plano aprobado, registro del cambio, inspección de lo construido y evidencia de aceptación. Esa relación permite determinar qué debe corregirse y quién debe resolverlo.

4.11 Preparar el expediente de gobierno de la conectividad

El expediente debe permitir que otra persona comprenda cómo se decide y cómo se sostiene el servicio. Su extensión dependerá de la complejidad, pero debe cubrir las funciones y relaciones necesarias para operar sin vacíos de responsabilidad.

1. Mandato y autoridad. Alcance de la función, atribuciones, recursos, límites de decisión, suplencia y escalamiento.
2. Participantes y responsabilidades. Funciones internas, proveedores, clientes y responsables por decisión y etapa.
3. Requisitos y compromisos. Necesidades aprobadas, demarcaciones, condiciones comerciales y criterios de aceptación.
4. Referencia técnica y activos. Diseños, recorridos, dependencias, fibras, puertos, equipos y servicios identificados.
5. Plan de provisión y entrega. Obras, autorizaciones, pedidos, calendario, dependencias y responsables de recepción.
6. Pruebas y aceptación. Procedimientos, resultados, revisión, conformidades y pendientes con responsable y fecha.
7. Operación y cambios. Cobertura, contactos, mantenimiento, incidentes, versiones vigentes y cambios temporales.

La revisión periódica debe comprobar si las decisiones pendientes se resuelven, si los cambios llegan a los documentos y si los equipos pueden utilizar la información. También debe verificar la vigencia de contactos, suplencias y capacidades de respuesta.

La organización estará preparada cuando pueda relacionar lo prometido con lo diseñado, construido y aceptado, y pueda decidir cómo conservarlo o modificarlo. El capítulo 5, Propuesta de valor e indicadores del negocio, explicará cómo convertir esas capacidades en una oferta comercial respaldada y en indicadores que permitan evaluar su entrega.

Entrega del capítulo. Matriz de decisiones con responsables y escalamiento.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Quién integra la conectividad del proyecto y qué autoridad tiene para coordinar decisiones?
2. ¿Están separados quienes ejecutan, revisan y aprueban cada entrega o cambio?
3. ¿La operación participa en el diseño y puede recibir el servicio con información suficiente?
4. ¿Cada consultoría, carrier y contratista tiene una contraparte y criterios de aceptación definidos?
5. ¿Un cambio de trazado puede revisarse antes de alterar la continuidad comprometida?
6. ¿Los planos y configuraciones vigentes coinciden con lo instalado y con los resultados aceptados?

Capítulo 5 Propuesta de valor e indicadores del negocio

Al terminar este capítulo, el lector podrá Relacionar promesas comerciales con capacidad y evidencia.

Términos esenciales. Indicador = medida de un objetivo; factibilidad = evaluación de posibilidad y condiciones.

Un cliente compara dos data centers con espacio y energía adecuados. Para iniciar su operación también necesita llegar a una región de nube, conectar un sitio de respaldo y disponer de una alternativa ante fallas. La decisión depende de qué conexiones podrá utilizar, cuándo estarán listas y cómo se demostrará su funcionamiento. La conectividad participa así en la elección del emplazamiento y en la fecha de puesta en servicio.

La propuesta de valor debe relacionar esas necesidades con capacidades verificadas del campus y de sus proveedores. Este capítulo explica cómo convertir la factibilidad técnica en una oferta comercial, comparar costos y plazos y construir indicadores para evaluar la provisión y la operación. El objetivo es que el cliente pueda entender qué recibe y que el propietario pueda comprobar si está cumpliendo lo comprometido.

5.1 Expresar el valor desde el resultado del cliente

El valor de una conexión depende del trabajo que permite realizar. Una empresa necesita utilizar aplicaciones y recuperar datos; un proveedor de contenido necesita alcanzar a su audiencia; un operador necesita entregar servicios; un cliente de nube necesita comunicar recursos concretos. La oferta debe explicar cómo resolverá esos recorridos y qué condiciones mantendrá.

Un cliente hyperscale puede priorizar accesos, fibra, espacio en MMR y capacidad de expansión que le permitan desarrollar su propia arquitectura. Otros clientes pueden requerir un servicio gestionado con una entrega definida hasta el rack. La propuesta debe identificar quién opera cada parte y ajustar su alcance al modelo del cliente, sin presumir que todos compran el mismo producto.

Una afirmación como «acceso a nube» debe precisar proveedor, ubicación de interconexión, región o recurso de destino y modalidad de entrega. Una promesa de crecimiento debe identificar recursos, restricciones y plazo de ampliación. Una propuesta de continuidad debe describir escenarios y capacidad conservada durante una contingencia.

El beneficio debe acompañarse de evidencia. Si se ofrece habilitar más rápido, debe definirse desde qué evento se cuenta el plazo. Si se ofrece mejor desempeño, deben identificarse extremos, condiciones y referencia de comparación. Esa precisión permite al cliente evaluar el efecto en su instalación y en sus aplicaciones.

5.2 Reconocer cómo incorporan la conectividad los operadores

En su informe anual de 2025, Equinix declara que la presencia de redes de fibra de distintos carriers es importante para atraer y retener clientes. También señala que la neutralidad y la variedad de redes han sido una ventaja competitiva y reconoce que su disponibilidad puede variar entre mercados. La propia compañía relaciona así conectividad, elección del cliente y resultados del negocio. [31]

Digital Realty presenta una oferta de conectividad que reúne acceso a carriers, proveedores de nube y socios, junto con servicios de interconexión como ServiceFabric. Este ejemplo muestra cómo las conexiones se incorporan a la oferta de una plataforma de data centers. [32]

Iron Mountain ofrece cross connects físicos, interconexiones virtuales y acceso a redes y nubes. Su información comercial indica que el ecosistema varía según la ubicación y que la disponibilidad debe consultarse para el mercado requerido. La verificación del sitio concreto es parte de la evaluación comercial. [33]

Estos ejemplos describen capacidades y posicionamiento de operadores. Para construir una propuesta propia debemos comprobar qué destinos y servicios necesita el cliente y cuáles puede entregar nuestro proyecto. Las condiciones de cada campus, su demanda y sus alternativas deben sustentar las decisiones de inversión y provisión.

5.3 Convertir la factibilidad en una oferta comercial

La oferta debe partir de los requisitos del capítulo 2, del catálogo del capítulo 3 y de las responsabilidades del capítulo 4. Debe indicar qué servicio se entregará, en qué puntos, con qué capacidad y bajo qué condiciones de operación. También debe declarar los trabajos y autorizaciones que siguen pendientes.

Conviene diferenciar lo disponible y verificado, lo que puede habilitarse mediante pedidos y configuración y lo que depende de nueva obra o ampliación. Son estados de trabajo para este libro. Cada afirmación debe conservar su fecha de verificación y las condiciones que permiten sostenerla.

Una fibra cercana puede respaldar una investigación de factibilidad. Una oferta del carrier puede respaldar una alternativa con condiciones y plazo. Una entrega aceptada cuenta además con instalación y pruebas del alcance definido. El documento comercial debe reflejar el estado real y las acciones necesarias para llegar al servicio del cliente.

La propuesta debe fijar un calendario que relacione construcción, pedidos, cross connects, equipos, configuración y aceptación. Los plazos de terceros y las condiciones previas deben estar identificados. Comercial necesita esa revisión antes de comprometer una fecha y un alcance.

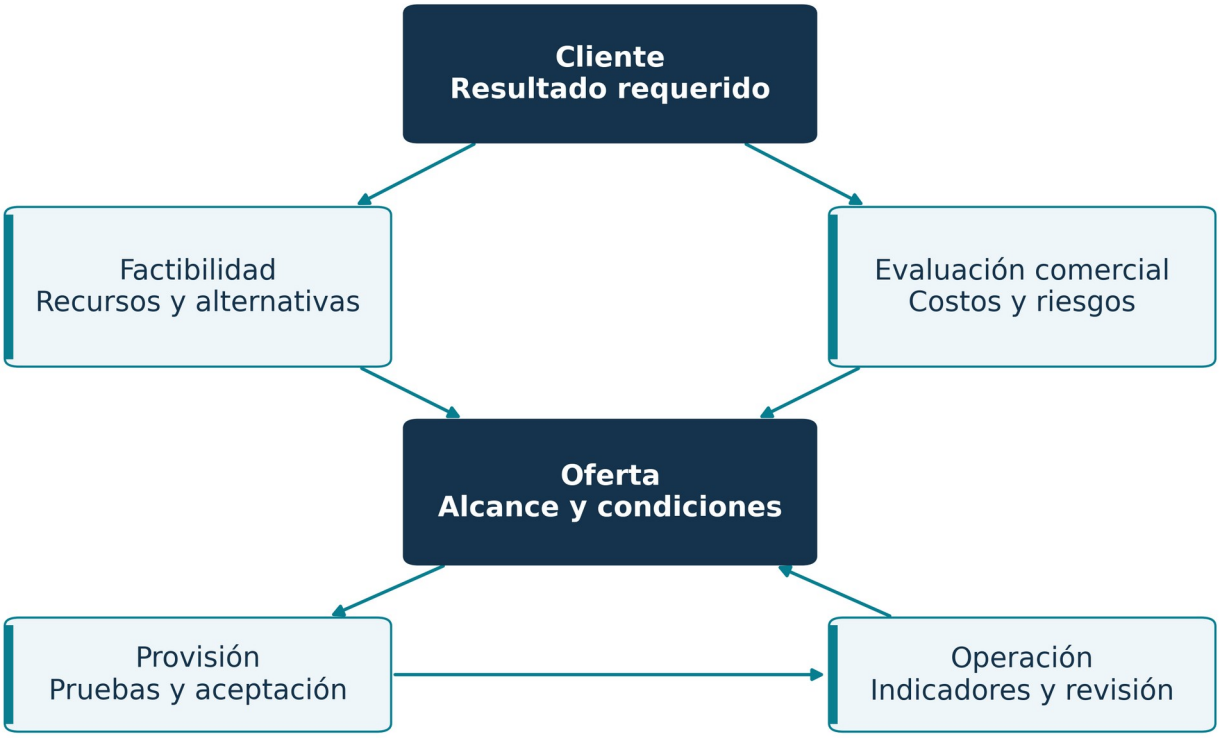


Figura 5.1. Relación entre requisitos, factibilidad, oferta y resultados. Elaboración propia. La provisión y la operación generan evidencia para revisar las capacidades y los compromisos.

El esquema muestra cómo la oferta utiliza información técnica y comercial, y cómo la entrega y la operación generan evidencia para revisarla. Los resultados deben volver al catálogo de capacidades: una ampliación puede habilitar una nueva oferta y una restricción puede obligar a modificarla.

5.4 Comprobar recursos disponibles y capacidad de crecimiento

La capacidad comercializable debe relacionarse con la solución completa. Un puerto libre puede necesitar fibras, ópticas, alimentación, espacio, capacidad en otros tramos y habilitación del proveedor remoto. El inventario debe distinguir recursos instalados, ocupados, reservados y disponibles para una entrega concreta.

Las reservas deben identificar cliente o proyecto, vigencia y responsable. Los recursos pendientes de instalación deben conservar su condición y fecha prevista. Un mismo puerto o una misma capacidad no debe comprometerse simultáneamente a pedidos incompatibles.

También debe revisarse qué capacidad queda disponible durante una falla. Los recursos reservados para sostener la contingencia forman parte del diseño del servicio. Una ampliación comercial debe comprobar si conserva ese comportamiento y si necesita modificar otros equipos, rutas o contratos.

La previsión de crecimiento debe traducirse en decisiones: qué recurso se ampliará, cuánto tarda, qué condición activa el pedido y quién lo autoriza. El disparador puede apoyarse en utilización, demanda confirmada, ventanas de transferencia o reservas, según el servicio. Debe incluir el tiempo de provisión de la ampliación y la incertidumbre de la demanda.

5.5 Comparar costos y plazos sobre el mismo alcance

La comparación debe incluir los elementos necesarios para entregar el servicio: habilitación, obra, equipos, instalación, pruebas y cargos recurrentes que correspondan. También deben identificarse cargos por capacidad, uso, soporte, ampliación y término del servicio cuando formen parte de las condiciones de la oferta.

El horizonte de evaluación, la moneda y las condiciones deben ser comunes. Una comparación sencilla puede sumar costo inicial y cargos mensuales del periodo. Debe indicarse si deja fuera impuestos, reajustes, consumo variable, costos internos u otros componentes. La suma nominal no incorpora descuento financiero ni constituye por sí sola una evaluación completa de inversión.

El plazo tiene un efecto operativo propio. Una conexión que llega después de la fecha necesaria puede exigir una transición, aplazar una migración o limitar una aplicación. Esas consecuencias deben evaluarse con el cliente y, cuando puedan cuantificarse, incorporarse al análisis. No deben asignarse pérdidas o ingresos supuestos sin una base explícita.

Los riesgos deben relacionarse con decisiones pendientes: permisos, obras de terceros, capacidad remota o recorridos aún sin comprobar. Para comparar ofertas hay que conservar esas diferencias y determinar quién puede resolverlas. El precio debe leerse junto con el alcance, el calendario y la evidencia de factibilidad.

5.6 Definir indicadores y objetivos de servicio

Un indicador es útil cuando describe una condición que afecta al cliente o permite decidir una acción. Cada uno debe tener nombre, propósito, fórmula o método, unidad, alcance, fuente, periodo y responsable. También debe definir qué hacer con datos faltantes, cancelaciones o cambios de fecha.

En servicios podemos distinguir SLI, la medida cuantitativa definida; SLO, el objetivo que se fija sobre esa medida; y SLA, el acuerdo que establece compromisos y consecuencias según sus condiciones. Google desarrolla esta distinción en su libro de Site Reliability Engineering. La cifra observada, el objetivo y el compromiso deben poder relacionarse. [34]

La tabla propone indicadores de trabajo para este libro. Sus objetivos deben acordarse según la aplicación y el servicio. Las fórmulas deben conservar una población definida para que los resultados puedan compararse entre periodos.

Tabla 5.1. Definir indicadores y objetivos de servicio

Indicador	Definición que debe fijarse	Decisión que puede orientar
Factibilidad atendida	Solicitudes con evaluación completada frente a las exigibles en el periodo, según una regla documentada.	Qué consultas o antecedentes bloquean la preparación de ofertas.
Plazo de provisión	Tiempo entre inicio definido y aceptación; distribución de pedidos completados y antigüedad de los pendientes.	Dónde se acumulan esperas y qué etapas necesitan capacidad.
Entrega a tiempo	Pedidos aceptados dentro de su fecha comprometida sobre todos los pedidos con vencimiento en el periodo.	Qué compromisos se incumplen y qué causa debe corregirse.

Indicador	Definición que debe fijarse	Decisión que puede orientar
Recursos disponibles	Puertos, fibras y capacidad utilizables para el alcance requerido, descontando ocupación, reservas y restricciones.	Qué puede ofertarse y qué ampliación debe iniciarse.
Desempeño	Retardo, variación, pérdida y throughput bajo extremos, carga y método definidos.	Si la entrega mantiene las condiciones requeridas por la aplicación.
Disponibilidad	Proporción del tiempo o de las operaciones que cumplen el criterio de servicio, según la definición adoptada.	Qué interrupciones o degradaciones afectan al cliente.
Recuperación	Tiempo desde el evento de inicio acordado hasta recuperar la condición de servicio definida.	Si la respuesta y las alternativas cumplen lo previsto.
Contingencias verificadas	Escenarios exigibles superados frente a los previstos para el periodo, informando los no ejecutados.	Qué dependencias y comportamientos siguen sin demostrarse.

El cumplimiento de entrega debe conservar la fecha originalmente comprometida y las modificaciones aprobadas. Si se reprograma un pedido, el tablero debe permitir reconocer el cambio y su causa. Medir solo pedidos ya terminados puede ocultar los atrasados que siguen abiertos.

En los tiempos de provisión debemos declarar si se utilizan días corridos o hábiles, qué evento inicia el conteo y qué esperas se separan. Los periodos detenidos por falta de antecedentes pueden registrarse, pero deben permanecer visibles para entender el tiempo total que experimenta el cliente.

5.7 Interpretar desempeño y continuidad sin perder el alcance

Los indicadores de retardo deben conservar extremos, sentido, periodo y método de medición. RFC 7679 define la métrica de retardo de ida e incorpora las condiciones y errores de medida. Una comparación entre sitios necesita utilizar alcances y condiciones equivalentes. [10]

Los percentiles p50, p95 y p99 permiten observar partes diferentes de la distribución. Debemos conservar la población de muestras y las fallidas. Un promedio general puede ocultar un destino degradado; promediar percentiles de distintos tramos o periodos no reconstruye el percentil del conjunto. El capítulo 2 desarrolló estas distinciones.

El throughput debe relacionarse con la tarea que necesita terminarse. RFC 6349 describe pruebas TCP de extremo a extremo para redes IP gestionadas y considera parámetros de red y de los extremos. Para un respaldo, el resultado de negocio puede ser completar y verificar el volumen dentro de su ventana. [8]

Cuando la disponibilidad se define por tiempo, una forma de expresarla es $A = 100 \times (T - U) / T$. T representa el periodo evaluado y U el tiempo declarado indisponible según el criterio acordado. El documento debe especificar degradaciones, mantenimiento, exclusiones y cobertura de observación que correspondan. Los intervalos sin evidencia deben informarse como tales.

Una disponibilidad mensual resume el periodo, pero no determina por sí sola la duración máxima de una interrupción ni el tiempo de recuperación ante cada evento. Los indicadores de incidentes y

pruebas de contingencia deben acompañarla. La evaluación también debe distinguir el comportamiento del enlace del funcionamiento de la aplicación completa.

5.8 Relacionar los indicadores con el negocio del campus

El seguimiento comercial debe identificar qué oportunidades requieren determinada conectividad, cuáles tienen una alternativa confirmada y cuáles dependen de mejoras. Las razones de pérdida, aplazamiento o renovación deben registrarse con la información disponible y su origen.

La conectividad puede participar en la decisión del cliente junto con energía, ubicación, precio, capacidad y condiciones de operación. Para atribuir una oportunidad ganada o perdida a la red necesitamos evidencia de esa decisión. El cambio de un indicador comercial no demuestra por sí solo qué factor lo produjo.

El tablero debe separar oportunidades, contratos, servicios aceptados, ingresos previstos y facturación. Los ingresos deben analizarse junto con los costos de provisión y operación y con el alcance que el campus asume frente a proveedores y clientes. La capacidad instalada y el volumen comercial anunciado necesitan relacionarse con servicios que pueden entregarse.

Los resultados deben conducir a acciones concretas. Si aumentan los plazos por falta de puertos, corresponde revisar expansión y reservas. Si la demanda se concentra en un destino no disponible, debe evaluarse una nueva interconexión. Si se repite una falla compartida, debe revisarse el diseño y el compromiso de continuidad.

5.9 Caso práctico de dos alternativas de provisión

Consideremos un caso ficticio con valores expresados en unidades monetarias, sin representar precios de mercado. El cliente necesita el servicio aceptado en cinco semanas. Suponemos que ambas alternativas cumplen el alcance técnico requerido y que las fechas incluyen las pruebas y la aceptación.

Tabla 5.2. Caso práctico de dos alternativas de provisión

Concepto	Alternativa A	Alternativa B
Costo inicial	12 000 unidades monetarias.	18 000 unidades monetarias.
Cargo mensual	1 800 unidades monetarias.	1 500 unidades monetarias.
Entrega prevista	Cuatro semanas, sujeta a las condiciones documentadas.	Siete semanas, sujeta a las condiciones documentadas.
Suma nominal a 12 meses	33 600 unidades monetarias.	36 000 unidades monetarias.
Suma nominal a 36 meses	76 800 unidades monetarias.	72 000 unidades monetarias.

La suma a 36 meses se obtiene mediante costo inicial más 36 cargos mensuales: A = 12 000 + 36 × 1 800 = 76 800; B = 18 000 + 36 × 1 500 = 72 000. En el ejemplo se omiten otros cargos, impuestos, reajustes y descuento financiero para aislar la comparación.

La alternativa B requiere 6 000 unidades adicionales al inicio y reduce el cargo mensual en 300. Las sumas nominales se igualan a los veinte meses. Esta relación cambia si varía la duración o se incorporan otros costos.

La alternativa A coincide con la fecha necesaria si se cumplen sus condiciones. La B presenta una suma menor a 36 meses, pero necesita resolver una diferencia de calendario. Antes de elegirla habría que acordar una transición viable o modificar la fecha requerida. Esa solución puede introducir costos y condiciones que deben añadirse a la comparación.

La decisión debe conservar los supuestos de alcance, duración y factibilidad. Una oferta puede mejorar al cambiar el horizonte de contratación y dejar de ser viable si incumple una condición necesaria para iniciar el servicio.

5.10 Caso práctico de un tablero mensual

Supongamos ahora un periodo ficticio de treinta días. Diez pedidos tenían su fecha comprometida en ese periodo: ocho fueron aceptados a tiempo, uno se aceptó tarde y uno sigue pendiente. El cumplimiento de entrega es 8 / 10 × 100 = 80 %. Si se utilizara solo el conjunto de nueve pedidos terminados, el resultado ocultaría el pedido que permanece abierto.

Un servicio dispone de observación completa durante los treinta días y acumula 32 minutos de indisponibilidad según el criterio acordado. El periodo contiene 43 200 minutos. Su disponibilidad calculada es 100 × (43 200 − 32) / 43 200, aproximadamente 99,926 %. Para evaluar cumplimiento necesitamos además conocer el objetivo y las condiciones del acuerdo.

Había cuatro escenarios de contingencia exigibles en el periodo. Se ejecutaron tres y los tres superaron sus criterios. La proporción de escenarios previstos superados es 3 / 4 × 100 = 75 %. También puede informarse que el resultado fue satisfactorio en tres de tres ejecutados, conservando visible el escenario pendiente.

Tabla 5.3. Caso práctico de un tablero mensual

Indicador del caso	Resultado	Qué debe investigarse o resolverse
Entregas a tiempo	80 %, con un pedido tardío y otro aún pendiente.	Causas de atraso, responsables y fecha de resolución del pedido abierto.
Disponibilidad por tiempo	99,926 %, con observación completa del periodo.	Causas e impacto de los 32 minutos y comparación con el objetivo aplicable.
Contingencias previstas superadas	75 %, con tres pruebas superadas y una sin ejecutar.	Motivo del pendiente, nueva fecha y alcance que permanece sin demostrar.

El tablero debe mostrar las poblaciones, las fechas y las condiciones de observación que producen los resultados. La falla frecuente sería excluir pedidos atrasados, intervalos sin datos o pruebas pendientes y presentar una situación mejor que la experimentada por el cliente. El diagnóstico comienza al revisar denominadores, exclusiones y registros originales.

5.11 Preparar la propuesta de valor y su ficha de seguimiento

La propuesta debe reunir el resultado que necesita el cliente, la solución factible y las condiciones bajo las que podrá entregarse. Su ficha de seguimiento relacionará cada compromiso con un indicador, una evidencia y un responsable.

1. Cliente y resultado. Aplicación, destinos, fecha necesaria y condición de funcionamiento que se quiere conseguir.
2. Solución y alcance. Proveedores, puntos de entrega, capacidad, infraestructura y responsabilidades.
3. Factibilidad vigente. Recursos disponibles, reservas, verificaciones, trabajos pendientes y condiciones de provisión.
4. Costos y calendario. Cargos incluidos, horizonte, dependencias, fechas y supuestos de comparación.
5. Desempeño y continuidad. Métricas, objetivos, escenarios de contingencia y comportamiento de las alternativas.
6. Entrega y aceptación. Pruebas, evidencia, criterios, responsables y tratamiento de pendientes.
7. Seguimiento y revisión. Fuentes de datos, periodos, reglas de cálculo, responsables y acciones ante desviaciones.

Con este capítulo se cierra la primera parte del libro. Hemos situado al data center dentro de las redes, definido requisitos, reconocido el ecosistema y organizado las responsabilidades. Esa base permite formular una oferta y evaluar su cumplimiento. La siguiente parte comienza con el capítulo 6, Historia de la conectividad submarina, para comprender cómo se desarrollaron los sistemas que sostienen muchos de los recorridos internacionales que utilizamos.

Entrega del capítulo. Propuesta de valor respaldada por recursos y plazos.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La oferta explica qué podrá hacer el cliente, entre qué puntos y desde qué fecha?
2. ¿Cada capacidad anunciada tiene factibilidad vigente, recursos y responsables identificados?
3. ¿Las alternativas se comparan sobre el mismo alcance, horizonte y condiciones de provisión?
4. ¿Los indicadores distinguen medida observada, objetivo y compromiso acordado?
5. ¿El tablero conserva pedidos abiertos, datos faltantes y pruebas pendientes?
6. ¿Cada desviación relevante conduce a una decisión, un responsable y una fecha de seguimiento?

Parte 2 Del cable submarino a la estación de amarre

El recorrido internacional comienza con una arquitectura y una historia tecnológica. Seguimos cable, estaciones, terminales, capacidad, supervisión y reparación antes de continuar por tierra.

Capítulo 6 Historia de la conectividad submarina

Al terminar este capítulo, el lector podrá Explicar cómo evolucionaron los sistemas submarinos y su contexto.

Términos esenciales. Telegrafía = comunicación mediante señales codificadas; WDM = multiplexación por longitud de onda.

La conectividad de un data center depende de decisiones tomadas mucho antes de construir su edificio. Los puertos de llegada, los corredores terrestres y las relaciones entre operadores conservan parte de la historia de las redes. Un servicio internacional puede utilizar infraestructura de distintas generaciones, con terminales renovados y acuerdos comerciales que cambian sin que se sustituya el cable submarino.

Para entender esa infraestructura conviene seguir su evolución: mensajes telegráficos, conversaciones telefónicas y transmisión óptica de datos. Cada etapa modificó la capacidad y la forma de ampliar, probar y explotar los sistemas. También cambió quién invertía en las rutas y qué necesidades impulsaban su construcción.

Este capítulo abre el recorrido desde el océano hacia el data center. Su pregunta práctica es cómo reconocer qué aporta un sistema submarino a la conectividad que se desea contratar. La respuesta requiere distinguir la tecnología instalada, la capacidad realmente habilitada, las rutas utilizadas y las responsabilidades de quienes entregan el servicio.

6.1 De los mensajes transportados al telégrafo submarino

Antes de disponer de enlaces eléctricos internacionales, una comunicación escrita entre continentes debía viajar físicamente. La llegada de un barco determinaba cuándo podía conocerse una noticia o responderse una instrucción comercial. El telégrafo permitió transmitir mensajes codificados mediante señales eléctricas, pero extenderlo a través del mar exigía resolver aislamiento, resistencia mecánica y comportamiento de la señal.

El enlace Dover–Calais de 1851 fue un primer éxito comercial duradero entre Inglaterra y Francia. El Science Museum conserva una muestra del cable y registra que permaneció en uso, con reparaciones menores, hasta 1875. El antecedente de 1850 había funcionado brevemente. La comparación muestra que la primera transmisión y la explotación sostenida son hitos diferentes. [35, 36]

En un cable telegráfico, el conductor transportaba la señal eléctrica y el aislamiento impedía que se perdiera hacia el agua. La protección exterior debía soportar el tendido y las condiciones del recorrido. El sistema incluía además instrumentos de transmisión, recepción y personas que interpretaban los mensajes. La utilidad surgía del funcionamiento conjunto de esos elementos.

Esta primera etapa ya plantea una cuestión vigente: una ruta dibujada y una conexión establecida necesitan demostrar que pueden sostener el servicio. Para el lector de este libro, la historia comienza con una diferencia entre construir infraestructura y explotarla de forma continua.

6.2 El cruce del Atlántico y la disciplina de prueba

En 1858 se consiguió establecer una comunicación telegráfica entre Irlanda y Terranova. La conexión dejó de funcionar pocas semanas después. El Science Museum documenta ese éxito inicial y su corta duración. Cruzar el Atlántico había sido posible, pero todavía faltaba conseguir un sistema confiable. [37]

La distancia hacía visibles problemas que en enlaces más cortos resultaban menos severos. La capacitancia distribuida del cable deformaba los impulsos eléctricos y dificultaba su lectura. William Thomson, posteriormente lord Kelvin, participó en el desarrollo de instrumentos y métodos para mejorar la transmisión. Las características del medio obligaron a revisar la forma de enviar y detectar la señal. [38]

Los archivos del IET describen pruebas durante la fabricación y a bordo del Great Eastern en la expedición de 1865. Se detectaron y repararon defectos durante el tendido, aunque finalmente el cable se perdió antes de completar el recorrido. En 1866 se tendió con éxito otro enlace y se recuperó el de 1865, que también pudo completarse. [38]

La lección para la ingeniería actual es que las pruebas deben acompañar la fabricación, la instalación y la aceptación. Un resultado obtenido antes del embarque no demuestra por sí solo el estado final del sistema. Los registros intermedios permiten reconocer cuándo apareció un defecto y qué intervención se realizó.

También aparece una responsabilidad que continúa vigente: conservar información suficiente para localizar, recuperar y reparar infraestructura remota. El trabajo marino, los instrumentos y los procedimientos forman parte de la capacidad de prestar el servicio durante su ciclo de vida.

6.3 Telefonía y cable coaxial

El siguiente cambio fue transportar conversaciones. La telefonía necesitaba canales capaces de reproducir voz en tiempo real, con un comportamiento distinto del envío de mensajes telegráficos. Los sistemas coaxiales y los repetidores sumergidos permitieron construir enlaces telefónicos submarinos de larga distancia.

TAT-1 entró en servicio en 1956 y proporcionó inicialmente 36 canales telefónicos. Su tramo atlántico utilizaba dos cables, uno para cada sentido de transmisión. La documentación histórica del sistema muestra la importancia del diseño de los repetidores y de su confiabilidad bajo el agua. [36, 39, 40]

La electrónica sumergida introducía una dependencia adicional: la señal debía mantenerse a lo largo del recorrido mediante equipos que resultaban difíciles de intervenir. La alimentación y la vida útil de esos equipos debían resolverse como parte del sistema. Los cambios posteriores de capacidad también dependían de las características de la planta instalada.

En paralelo, la radio y después los satélites ofrecieron otros medios para comunicar continentes. Early Bird, posteriormente conocido como Intelsat I, fue lanzado en abril de 1965 como satélite comercial de comunicaciones. La historia de NASA documenta este desarrollo. Los cables y los enlaces espaciales continuaron evolucionando como alternativas con coberturas y características diferentes. Para comparar un servicio hay que identificar el medio y el recorrido efectivos, porque una misma comunicación puede combinar tecnologías. [36, 52]

Para comparar generaciones conviene conservar las unidades originales. Los canales de voz describen el servicio telefónico de aquella época. Convertirlos directamente en equivalentes de tráfico de nube,

sin indicar codificación y arquitectura, produciría una comparación engañosa. La evolución debe explicarse junto con el servicio que cada tecnología permitía entregar.

6.4 La primera generación óptica

La fibra óptica sustituyó la transmisión eléctrica de la información por señales luminosas guiadas en vidrio. Su despliegue submarino exigió integrar fibras, fuentes ópticas, receptores, empalmes y equipos sumergidos con la confiabilidad necesaria para operar durante años sin acceso directo.

TAT-8 entró en servicio en diciembre de 1988 como el primer sistema transatlántico de fibra óptica. Conectó Estados Unidos, Reino Unido y Francia. Debe conservarse esa precisión geográfica: antes habían existido enlaces submarinos ópticos de menor alcance. El hito de TAT-8 fue llevar la transmisión óptica al cruce del Atlántico. [36, 41]

Los primeros sistemas ópticos regeneraban la señal mediante conversión óptica a eléctrica y nuevamente a óptica en los repetidores. La UIT explica que estos regeneradores se diseñaban para una velocidad de señal determinada, lo que limitaba las posibilidades de actualización después de instalar la planta sumergida. [42]

Esta característica permite comprender por qué dos cables de fibra pueden tener posibilidades de ampliación diferentes. La presencia de vidrio no describe por sí sola la arquitectura del sistema. Debemos conocer cómo se mantiene la señal, qué equipos están sumergidos y qué cambios pueden realizarse desde las estaciones terminales.

6.5 Amplificación óptica y WDM

Durante la década de 1990, los amplificadores ópticos modificaron la arquitectura submarina. Un amplificador de fibra dopada con erbio, conocido como EDFA, aumenta la potencia de la señal óptica sin convertir cada canal en una señal eléctrica. Esa capacidad facilitó el empleo de varias longitudes de onda en una misma fibra. [42]

La multiplexación por longitud de onda, WDM, permite transmitir canales ópticos diferentes sobre el mismo medio. DWDM utiliza una disposición más densa de esos canales. La capacidad puede ampliarse mediante cambios en los canales y terminales, siempre dentro de las condiciones que admite la planta sumergida. La UIT relaciona la amplificación óptica con esta posibilidad de evolución. [42]

Para el propietario del data center, la consecuencia es que el año de tendido y el año de actualización describen cosas distintas. Un sistema puede conservar su cable y parte de sus equipos marinos mientras renueva terminales en tierra. La capacidad disponible debe comprobarse mediante la configuración y la evidencia de operación vigentes.

La amplificación tampoco elimina los límites físicos. El ruido y las características de propagación condicionan la señal recibida. Añadir canales o cambiar su formato necesita una evaluación del sistema. El capítulo 9 desarrollará esas relaciones; el capítulo 10 explicará cómo distinguir las capacidades de diseño, habilitadas y contratadas.

6.6 Transmisión coherente y SDM

La detección coherente y el procesamiento digital de señales permitieron utilizar con mayor eficacia la información de la señal óptica. Un trabajo de Bell Labs publicado en 2010 describía receptores coherentes con diversidad de polarización y procesamiento digital ultrarrápido para transmisiones

submarinas de 40 y 100 Gb/s por canal. Es una referencia de la transición tecnológica de aquel periodo, no un límite de los equipos posteriores. [43]

Esta evolución favoreció actualizaciones desde los terminales. Su viabilidad depende del enlace concreto, sus márgenes y las características de la planta instalada. Una demostración tecnológica o una prueba de laboratorio debe diferenciarse de la capacidad que un operador ha habilitado y puede entregar en una ruta determinada.

Otra forma de aumentar la capacidad total es disponer de más caminos ópticos paralelos. La multiplexación por división espacial, SDM, organiza esa expansión junto con el diseño energético de los repetidores. En febrero de 2021, Google anunció la disponibilidad para servicio de Dunant, entre Estados Unidos y Francia, con doce pares de fibra y un diseño SDM que comparte recursos de bombeo entre pares. [44]

En ese caso, SDM utiliza varios pares de fibras; el término no significa necesariamente que se emplee fibra multinúcleo. Conviene identificar la implementación concreta y la unidad a la que corresponde cada cifra: canal, fibra, par o sistema completo.

Aumentar el número de pares dentro de un cable amplía sus posibilidades de capacidad, pero conserva la dependencia física del mismo sistema. Si se pierde un tramo que contiene esos pares, varios canales pueden resultar afectados a la vez. La capacidad y la diversidad deben evaluarse por separado.

6.7 Cambios en la inversión y en el control de las rutas

La inversión privada acompañó a los cables desde la etapa telegráfica. El Science Museum describe la creación de la Atlantic Telegraph Company en 1856 y la venta de acciones para financiar el enlace. Tras el fracaso del cable de 1858, se consiguieron fondos para nuevos intentos. La historia relaciona desde temprano demanda, financiamiento y riesgo de construcción. [37]

Los proyectos posteriores adoptaron distintas formas de participación. Un consorcio puede reunir organizaciones que comparten la inversión y acuerdan sus derechos y responsabilidades; otros proyectos responden a una organización que busca controlar sus recorridos. En cada caso deben identificarse propiedad del cable, operación del sistema y venta del servicio.

MAREA muestra la colaboración entre proveedores de servicios digitales y una empresa de infraestructura de telecomunicaciones. Microsoft, Facebook y Telxius anunciaron su finalización en 2017. Microsoft explicó que la ruta, más al sur que otros sistemas transatlánticos, buscaba mejorar la resiliencia y que el diseño abierto facilitaba la interoperabilidad y las actualizaciones de equipos. [45]

Curie ofrece otro ejemplo. En noviembre de 2019, Google comunicó que su cable privado entre Estados Unidos y Chile estaba instalado y probado, y que se encontraba conectándolo a su red, con transmisión prevista para el segundo trimestre de 2020. El anuncio relacionaba la inversión con sus servicios digitales y necesidades futuras de capacidad. [46]

Estas experiencias muestran por qué una plataforma de nube puede participar directamente en la infraestructura intercontinental que conecta sus recursos. Para un data center independiente, la consecuencia comercial debe comprobarse: un cable cercano o propiedad de una nube no implica que cualquier cliente pueda contratar acceso a él desde cualquier edificio.

La evaluación debe identificar quién ofrece el acceso, bajo qué contrato, con qué punto de entrega y hacia qué destinos. El control de una ruta submarina y la posibilidad de comprar un servicio sobre ella son condiciones que deben documentarse de manera separada.

6.8 La evolución de la conectividad en Chile

La historia chilena muestra desde temprano la combinación de tramos terrestres y submarinos. Memoria Chilena, de la Biblioteca Nacional, documenta el enlace telegráfico Santiago–Valparaíso de 1852 y la conexión trasandina que permitió comunicar Chile con Europa en 1874 mediante la red argentina. También registra enlaces submarinos en la costa del Pacífico durante la década de 1870. El recorrido internacional ya dependía de varias infraestructuras enlazadas. [47]

En la etapa óptica, Curie incorporó un enlace directo entre Estados Unidos y Chile. Su anuncio de 2019 resulta útil para leer correctamente una cronología: distinguía instalación y pruebas ya completadas de una puesta en transmisión todavía prevista. Un registro histórico debe conservar qué hito acredita cada documento. [46]

Los cables también cumplen una función nacional. En octubre de 2020, SUBTEL informó que Puerto Williams recibía servicios móviles de alta velocidad de Entel conectados a la Fibra Óptica Austral. La noticia describía además obras terrestres y eléctricas necesarias para enlazar las instalaciones locales con la infraestructura troncal. La llegada de la fibra exigió completar el recorrido hasta el servicio. [48]

En diciembre de 2021, SUBTEL y Gtd documentaron en Arica la inauguración del cable Prat, concebido para conectar localidades a lo largo de la costa chilena, desde Arica hasta Puerto Montt. Este hito permite reconocer el papel del mar como corredor de transporte dentro de un mismo país. [49]

Para evaluar un campus en Chile debemos considerar esas funciones por separado. Un sistema puede aportar transporte nacional, otro un recorrido internacional y una interconexión terrestre el acceso desde el edificio. Las alternativas disponibles en el país solo se convierten en opciones del cliente cuando se confirma el trayecto, la capacidad y la entrega requerida.

6.9 Cronología para interpretar una red actual

La siguiente cronología reúne hitos seleccionados. Las etapas se superponen y sus fechas no significan que todos los sistemas cambiaran de tecnología al mismo tiempo. [35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49]

Tabla 6.1. Cronología para interpretar una red actual

Periodo o hito	Cambio principal	Pregunta para evaluar un servicio
1851 Dover–Calais	Enlace telegráfico submarino duradero.	¿Se acreditó solo la primera conexión o también su operación sostenida?
1858 y 1866 Atlántico	Primer enlace breve y posterior establecimiento de conexiones duraderas.	¿Qué pruebas y registros acompañan instalación, reparación y aceptación?
1956 TAT-1	Telefonía transatlántica sobre coaxial con repetidores.	¿Qué equipos sumergidos y dependencias sostienen la transmisión?
1988 TAT-8	Primer sistema transatlántico de fibra óptica.	¿Qué arquitectura óptica está realmente instalada?
Década de 1990	Amplificación óptica y evolución hacia WDM.	¿Qué puede ampliarse desde los terminales y bajo qué límites?

Periodo o hito	Cambio principal	Pregunta para evaluar un servicio
En torno a 2010	Desarrollo de transmisión coherente con procesamiento digital.	¿Qué configuración y margen respaldan la capacidad habilitada?
2017 MAREA	Colaboración entre infraestructura de telecomunicaciones y plataformas digitales.	¿Quién participa y qué acceso comercial ofrece cada parte?
2019 Curie	Anuncio de instalación y pruebas, con transmisión todavía prevista.	¿La fecha citada corresponde a obra, pruebas o servicio?
2020 FOA y 2021 Prat	Aplicaciones y despliegues de conectividad costera en Chile.	¿Qué función nacional o regional cumple cada recorrido?
2021 Dunant	Diseño SDM de doce pares anunciado disponible para servicio.	¿La capacidad adicional conserva una dependencia física común?

6.10 Qué cambió en las pruebas y las responsabilidades

En la etapa telegráfica era necesario comprobar continuidad, aislamiento y lectura de los impulsos. La telefonía incorporó exigencias de transmisión de voz y confiabilidad de repetidores. Los sistemas ópticos requieren caracterizar el medio y verificar la transmisión con métodos adecuados a su arquitectura. Las unidades, instrumentos y criterios de aceptación deben corresponder a la tecnología y al servicio que se examinan.

La Recomendación UIT-T G.976 trata los métodos de prueba aplicables a sistemas submarinos ópticos. Su resumen reconoce que numerosos métodos dependen del diseño específico y exige una comprensión común entre suministrador y comprador u operador sobre el propósito de las pruebas y el significado de sus resultados. Esa relación debe reflejarse en la documentación de aceptación. [50]

Para el data center, un informe de fibra del acceso terrestre demuestra el alcance que se haya medido. La aceptación del sistema submarino y la del servicio Ethernet o IP requieren sus propias evidencias. La localización de una falla física, el desempeño de la transmisión y el throughput de una aplicación responden a preguntas diferentes.

El expediente debe relacionar cada resultado con el tramo y con quien puede explicarlo. El operador submarino aporta la evidencia que corresponda a su sistema; el carrier que vende el servicio integra el recorrido contratado; el data center comprueba su infraestructura y las entregas bajo su responsabilidad. El cliente participa en la validación de los extremos y aplicaciones que le corresponden.

Una ficha histórica y técnica de la ruta debe conservar, como mínimo, identidad del sistema, hitos documentados, actualizaciones conocidas, extremos, función de cada participante, alcance contratado y referencias de aceptación. Los capítulos 11 y 53 desarrollarán la supervisión y las pruebas submarinas y de backhaul.

6.11 Caso de dos carriers con una dependencia común

Consideremos un caso ficticio. Un cliente contrata dos carriers hacia un data center remoto. Cada servicio llega por una MMR diferente y ambos superan sus pruebas de entrega en condiciones normales. La propuesta comercial presenta dos proveedores y dos entradas al campus.

Al reconstruir el recorrido internacional se comprueba que ambos carriers utilizan la misma estación de amarre y el mismo sistema submarino para el tramo considerado. La independencia obtenida dentro del campus termina antes de cruzar el océano. El dibujo representa esa dependencia; no corresponde a una red real.

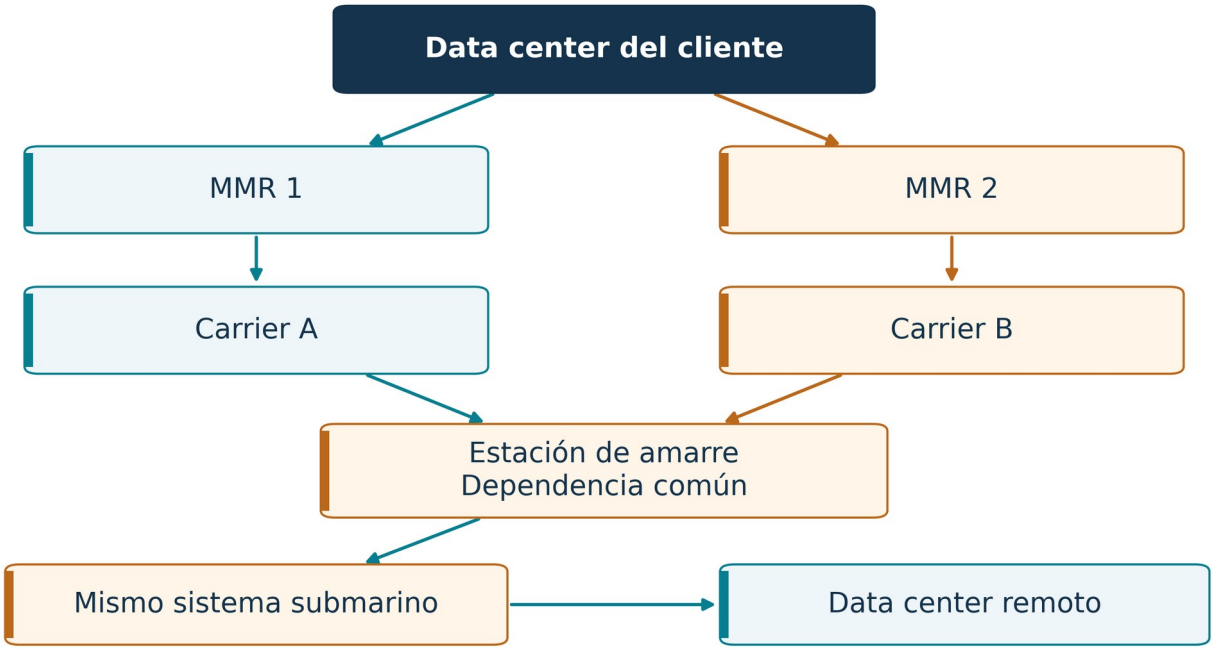


Figura 6.1. Caso ficticio de dependencia submarina común. Dos carriers y dos MMR convergen en la misma estación y sistema. Esquema de dependencias simplificado. Elaboración propia.

Si una falla afecta al tramo submarino común y no existe una restauración alternativa efectiva, los dos servicios pueden perder conectividad hacia el destino. Las pruebas normales de latencia o throughput no habían demostrado independencia física. Habían verificado el comportamiento de los servicios sobre las rutas disponibles durante la medición.

El diagnóstico debe reunir el recorrido documentado de cada carrier, las demarcaciones y las dependencias compartidas. Después debe verificarse qué alternativa existe, cuánta capacidad conserva y cómo se comporta durante el escenario de falla acordado. Una ruta de restauración anunciada necesita condiciones de activación y evidencia de la capacidad que puede sostener.

El ICPC identifica la pesca y las anclas como causas relevantes de daño accidental y recomienda combinar planificación de rutas, diversidad y capacidad de reparación. Las amenazas concretas deben evaluarse para cada recorrido; dos nombres comerciales no permiten inferir dos dominios de falla. [51]

La decisión puede ser contratar un recorrido adicional, modificar la arquitectura o aceptar una dependencia documentada si resulta compatible con la aplicación. La aceptación debe indicar qué escenarios se probaron, qué resultados se obtuvieron y qué parte de la diversidad permanece sustentada en documentación pendiente de verificar.

6.12 Aplicar esta historia a la selección de conectividad

La historia ofrece criterios para revisar una oferta actual. Las sucesivas mejoras de transmisión explican cómo puede crecer un sistema existente; los cambios de inversión explican quién controla las rutas; y los fallos históricos recuerdan la necesidad de probar y reparar infraestructura difícil de acceder.

1. Identificar el sistema y el hito acreditado por cada fecha. Separar anuncio, instalación, pruebas, disponibilidad para servicio y aceptación del circuito contratado.
2. Relacionar la capacidad ofrecida con la arquitectura y configuración vigentes. Conservar la unidad, el alcance y los límites de ampliación.
3. Reconstruir las dependencias desde el destino remoto hasta el campus. Incluir aterrizajes, backhaul y servicios de terceros.
4. Comprobar quién opera, quién vende y quién responde. Relacionar el contrato con las evidencias que cada participante puede aportar.
5. Evaluar el comportamiento durante fallas. Conservar la capacidad disponible en contingencia y los escenarios que siguen sin demostrarse.

Entrega del capítulo. Cronología comentada que distinga tecnología y servicio.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué diferencia existe entre haber tendido un cable y tener un servicio aceptado sobre él?
2. ¿Por qué el año de instalación no describe por sí solo la capacidad actual de un sistema óptico?
3. ¿Qué posibilidades de ampliación introdujeron la amplificación óptica, WDM y la transmisión coherente?
4. ¿Qué diferencia hay entre añadir pares de fibra y disponer de otra ruta física?
5. ¿Quién controla el cable que utilizará el servicio y quién está autorizado para ofrecer acceso?
6. ¿Dos carriers y dos MMR conservan independencia hasta el destino remoto y qué evidencia lo demuestra?

Capítulo 7 Anatomía del sistema submarino

Al terminar este capítulo, el lector podrá Identificar planta húmeda terminales y alimentación de un sistema.

Términos esenciales. SLTE = equipo terminal de línea submarina; PFE = equipo de alimentación del sistema.

Un sistema submarino de telecomunicaciones reúne el cable, los equipos sumergidos y los equipos en tierra que permiten transmitir información entre estaciones. Para entender su aporte a un data center debemos reconocer qué componentes utiliza el servicio, cómo se conectan y qué dependencias comparten.

La misma envolvente puede contener fibras que transportan luz y un conductor que alimenta equipos bajo el agua. La supervisión observa el sistema mediante recursos que dependen de su diseño. Por eso utilizamos tres dibujos: conectividad óptica, circuito de alimentación y relaciones de supervisión. Esta separación es funcional y no significa que existan tres cables submarinos independientes.

El capítulo explica las arquitecturas y los componentes. La ubicación detallada de la estación de amarre se desarrollará en el capítulo 8; los límites de transmisión y las pruebas tendrán sus capítulos propios. Aquí la decisión consiste en reconstruir el sistema que respalda una conexión y reconocer qué debe verificarse antes de atribuirle capacidad o resiliencia.

7.1 Reconocer el sistema y sus límites

La planta sumergida, habitualmente denominada *wet plant*, comprende el cable y los elementos instalados en el mar, como repetidores, unidades de ramificación y uniones. En tierra se encuentran las terminaciones, los equipos de transmisión, la alimentación que corresponda y los recursos de supervisión. La UIT distingue estos componentes y define la porción submarina entre las uniones de playa o puntos de aterrizaje. [53]

La expresión *dry plant* se utiliza para los equipos e infraestructura en tierra. Su alcance debe aclararse en cada proyecto y contrato: puede ser necesario identificar por separado los terminales, los tramos terrestres del sistema y los servicios de soporte. El nombre de una categoría no sustituye un inventario ni una demarcación.

Un cable puede servir a dos estaciones o incorporar ramificaciones hacia varias. A su vez, la estación puede enlazarse con una red terrestre que llega a un campus. La conexión contratada por el cliente utiliza una parte determinada de esa arquitectura y añade sus propias interfaces y responsabilidades.

Debemos dibujar primero el sistema físico y después marcar el recorrido del servicio. Esto permite reconocer si dos circuitos comparten una envolvente, una ramificación, una estación o un tramo terrestre, aunque se comercialicen con nombres distintos.

7.2 El cable y las fibras que transportan la información

El cable protege las fibras frente a las solicitaciones del tendido, la recuperación y el entorno marino. La Recomendación UIT-T G.978 trata sus características ópticas, mecánicas y eléctricas. La protección frente a presión, penetración de agua y agresiones químicas forma parte del diseño, junto con las exigencias de alimentación en los cables para sistemas con repetidores. [54]

Su construcción cambia según fabricante, arquitectura y condiciones del recorrido. Como ejemplo documentado, el cable OCC-SC300 descrito por NEC integra fibras protegidas, elementos de acero, un conductor de cobre y aislamiento exterior. La misma familia utiliza protecciones adicionales según el entorno, incluidas armaduras para ciertos tramos. Es un ejemplo constructivo y no una sección universal. [55]

Tabla 7.1. El cable y las fibras que transportan la información

Elemento o función	Qué aporta	Qué debe identificarse
Fibras ópticas	Guían las señales luminosas.	Tipo, cantidad, identificación y propiedades ópticas.
Protección de las fibras	Limita esfuerzos y entrada o propagación de agua.	Construcción, materiales y ensayos de calificación.
Elementos resistentes	Soportan esfuerzos de instalación y recuperación.	Límites mecánicos y condiciones de manejo.
Conductor de alimentación	Transporta la corriente de los equipos sumergidos cuando corresponde.	Resistencia y continuidad del circuito eléctrico.
Aislamiento eléctrico	Separa el conductor del entorno.	Características dieléctricas aplicables al diseño.
Cubiertas y armaduras	Aportan protección exterior según el tramo.	Tipo de cable y transiciones a lo largo de la ruta.

En una arquitectura dúplex convencional, un par utiliza una fibra para cada sentido de transmisión. Un cable de doce pares contiene veinticuatro fibras bajo ese supuesto. La cantidad de fibras debe distinguirse del número de longitudes de onda, de los canales habilitados y de los servicios comerciales que las utilizan.

Los planos y el inventario deben conservar las transiciones entre tipos de cable y las uniones incorporadas durante construcción o reparación. El recorrido óptico y el recorrido mecánico están relacionados: una intervención puede modificar la longitud, las pérdidas y los registros de referencia del tramo.

7.3 Repetidores y tramos de amplificación

En un sistema ópticamente amplificado, los repetidores compensan parte de la pérdida de potencia que acumula la señal entre tramos. Contienen amplificadores ópticos y componentes asociados dentro de una envolvente preparada para el entorno marino. Los diseños WDM descritos por Fujitsu muestran amplificadores alimentados desde tierra y funciones de supervisión integradas. [56]

El repetidor óptico no toma decisiones de encaminamiento IP. Su función de amplificación debe distinguirse de la conversión y el procesamiento realizados por los terminales. La ganancia permite continuar la transmisión, pero también deben considerarse ruido, propagación y margen del enlace. Esas relaciones se desarrollarán en el capítulo 9.

La separación entre repetidores se determina mediante la ingeniería del sistema. No debemos trasladar una distancia típica de un producto o de una generación a todos los cables. La ruta instalada

debe disponer de un registro de posiciones, secciones y características de los equipos que la componen.

Tampoco debe suponerse que cada fibra dispone de una alimentación eléctrica independiente. Los canales ópticos y los recursos de bombeo o alimentación pueden compartir componentes según el diseño. Para estudiar una contingencia necesitamos conocer qué funciones se pierden cuando falla uno de esos elementos.

7.4 Unidades de ramificación y asignación de caminos

Una unidad de ramificación, BU por branching unit, conecta más de dos secciones de cable. La UIT distingue unidades que interconectan pares completos y unidades con funciones de adición o extracción de longitudes de onda. Algunas configuraciones son fijas y otras permiten reconfiguración. También pueden existir funciones de conmutación del circuito de alimentación. [53]

La presencia de una BU no demuestra que cualquier estación pueda comunicarse con todas las demás sobre cualquier fibra. Deben conocerse la asignación de pares, el espectro cuando corresponda y los estados permitidos. Las posibilidades ópticas y las posibilidades de alimentación requieren documentación separada.

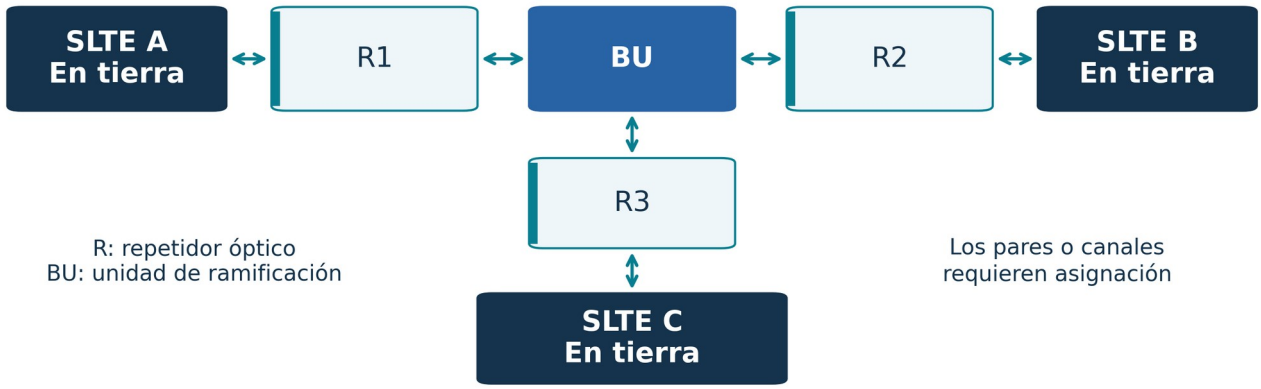


Figura 7.1. Conectividad óptica de un sistema con ramificación. Los trazos representan conexiones, sin indicar escala ni capacidad. Se omiten detalles de interfaz y otros repetidores. Elaboración propia.

Consideremos una asignación ficticia por pares completos: seis pares llegan desde A a la BU, cuatro continúan hacia B y dos hacia C. Esto equivale a doce fibras en el tramo común bajo la convención dúplex utilizada. La ramificación distribuye los caminos asignados; no crea seis pares adicionales hacia cada destino.

Ese mapa tampoco demuestra un servicio directo entre B y C. Para afirmarlo habría que verificar las conexiones y los recursos que lo permiten. Un dibujo geográfico con forma de Y necesita complementarse con el mapa de conectividad y el inventario de recursos asignados.

7.5 Terminales ópticos y conexión con la red terrestre

Los equipos terminales, habitualmente denominados SLTE en la documentación de sistemas submarinos, realizan la transmisión y recepción óptica de los canales. Su implementación integra las funciones necesarias para adaptar la información de las interfaces de servicio al formato de línea y recuperarla en el extremo remoto. La multiplexación y la separación de canales forman parte de la arquitectura que debe identificarse. [56]

En los sistemas coherentes, los terminales realizan el procesamiento de la señal y las funciones de corrección de errores correspondientes al diseño. Las tasas e interfaces de un terminal concreto deben comprobarse en su documentación. El nombre del cable no permite deducir qué equipo o configuración está habilitado en una entrega.

La terminación del cable relaciona la continuidad óptica con las interfaces de los equipos y, cuando existe alimentación eléctrica de la planta sumergida, con la conexión del conductor al sistema de alimentación. La documentación puede utilizar denominaciones como CTE o CTB. Deben confirmarse los límites y las funciones efectivas de cada conjunto. [56]

Después de la transmisión submarina puede existir un sistema terrestre de transporte, una entrega Ethernet o una red IP. Esas funciones deben aparecer como equipos y servicios identificables. La ubicación exacta de los terminales y las interfaces depende de la arquitectura; no debe inferirse únicamente a partir de la dirección de la estación de amarre.

7.6 Alimentación eléctrica de la planta sumergida

El equipo de alimentación, PFE por power feeding equipment, suministra corriente continua a los equipos sumergidos a través del conductor metálico del cable. NEC describe una alimentación de corriente constante y configuraciones desde ambos extremos, con funciones de respaldo sujetas a la capacidad del sistema. La corriente no viaja por el núcleo de vidrio que transporta los datos. [57]

El circuito debe cerrarse mediante los conductores, equipos y retornos previstos en el diseño. Las guías de la UIT describen configuraciones que utilizan electrodos y retorno por tierra y mar. En un sistema ramificado, la configuración de una BU puede modificar qué secciones quedan incluidas en un camino de alimentación. [58]

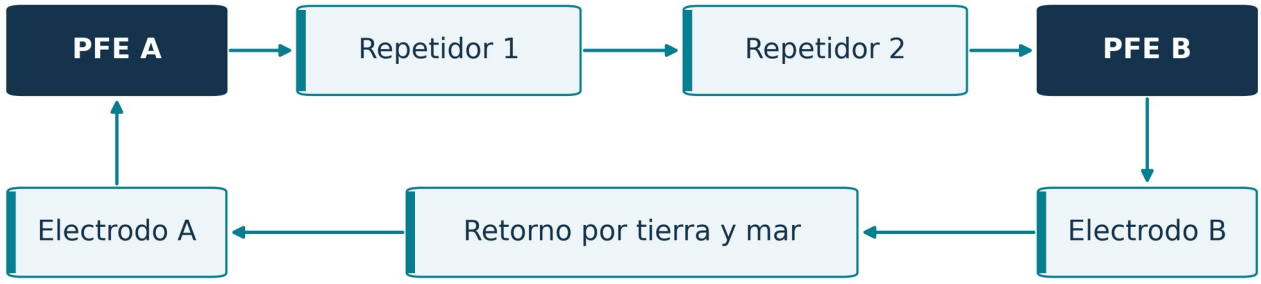


Figura 7.2. Circuito funcional simplificado de alimentación desde dos extremos. La línea superior representa el camino por el conductor del cable y los equipos; el retorno se muestra por separado. No es un diagrama de maniobra. Elaboración propia.

Disponer de PFE en dos estaciones no basta para afirmar que cualquiera sostendrá todo el sistema después de una falla. Deben comprobarse los caminos permitidos, los límites de salida y las condiciones de contingencia. La documentación debe relacionar el presupuesto eléctrico con la longitud, los repetidores, las unidades de ramificación y los márgenes previstos.

La independencia de los terminales de transmisión tampoco demuestra independencia de alimentación. Dos servicios ópticos pueden compartir el mismo circuito eléctrico de la planta sumergida. Esa relación debe conservarse al estudiar dominios de falla y capacidad de restauración.

La operación del PFE y la modificación de sus caminos corresponden al personal autorizado y a los procedimientos específicos del sistema. Para el responsable de conectividad del data center, la tarea consiste en conocer las dependencias y obtener evidencia de las condiciones de servicio acordadas.

7.7 Sistemas sin repetidores eléctricos intermedios

Los sistemas denominados unrepeatered o repeaterless evitan la cadena de repetidores submarinos alimentados eléctricamente. La Recomendación UIT-T G.973 trata esta familia. Su alcance depende de las pérdidas, la fibra, la capacidad y las técnicas ópticas empleadas; no existe una distancia única que permita clasificar por sí sola todas las aplicaciones. [59]

La ausencia de esa cadena no significa necesariamente ausencia de amplificación. Pueden utilizarse amplificadores en tierra, amplificación Raman distribuida o un amplificador remoto bombeado ópticamente, ROPA. En este último caso, la energía de bombeo llega mediante luz desde una estación. Debe distinguirse ese mecanismo de la alimentación eléctrica por el conductor de un cable con repetidores. [53, 59]

La ficha del sistema debe declarar si existen elementos ópticos remotos y cómo se alimentan. También debe indicar si el cable contiene un conductor y cuál es su función. La ausencia de PFE para repetidores no permite deducir por sí sola toda la construcción del cable ni todos sus recursos de localización.

Para un enlace costero o regional, esta arquitectura puede ser una alternativa, pero debe compararse mediante su diseño y sus pruebas. La aceptación debe verificar el comportamiento de los canales y el margen disponible bajo las condiciones previstas, incluidos los cambios que puedan introducir reparaciones futuras.

7.8 Supervisión y acceso de gestión

La supervisión reúne funciones para observar terminales, alimentación y planta sumergida, y ayudar al diagnóstico. UIT-T G.979 distingue mecanismos activos, que se comunican con los equipos sumergidos, y mecanismos pasivos, que observan los caminos mediante técnicas como OTDR o COTDR. La aplicación depende de los recursos previstos en la arquitectura. [60]

La red de gestión permite que los operadores consulten los sistemas locales. Debe distinguirse del mecanismo que obtiene la medida o el estado del equipo submarino. NEC documenta una arquitectura con gestión de estación, gestión de red y equipos específicos para observar el recorrido submarino. Es un ejemplo de implementación, no una obligación de utilizar el mismo producto. [61]



Figura 7.3. Relaciones funcionales de supervisión. El acceso de gestión comunica al centro de operación con los sistemas locales; la observación de la planta utiliza los mecanismos del sistema. Las líneas no representan canales físicamente independientes. Elaboración propia.

Una pérdida de comunicación entre el centro de operación y la estación puede dejar al operador sin datos recientes aunque el tráfico continúe. También puede existir deterioro de transmisión mientras la gestión sigue accesible. Debemos relacionar alarmas, tiempos de actualización, mediciones y funcionamiento efectivo del servicio.

El uso de reflectometría debe respetar la arquitectura y las interfaces habilitadas. No debe suponerse que un OTDR convencional conectado en cualquier punto caracterizará todo un sistema con amplificadores y ramificaciones. G.979 contempla caminos de retorno específicos para determinadas observaciones; G.976 orienta los métodos de prueba y la interpretación acordada de sus resultados. [60, 50]

7.9 Dependencias y responsabilidades del servicio

El sistema submarino es una parte del recorrido del cliente. El servicio también puede depender del tramo terrestre hasta la estación, del transporte hacia el campus, de los paneles y cross connects y de los equipos de entrega. Cada elemento debe tener identidad y responsable, aunque un único proveedor facture el conjunto.

El operador del sistema submarino custodia la configuración y las evidencias bajo su responsabilidad. El carrier que vende el circuito debe relacionar su servicio con las infraestructuras y terceros que utiliza. El data center administra sus entradas, MMR y conexiones internas según el alcance asumido. El cliente valida las interfaces y aplicaciones que le corresponden.

Al revisar diversidad debemos conservar la relación entre cada servicio y los elementos comunes. Pares distintos pueden compartir cable; cables distintos pueden compartir estación; estaciones diferentes pueden utilizar un mismo corredor terrestre. La independencia debe comprobarse en el recorrido completo y en los escenarios relevantes para la aplicación.

La información que reciba el cliente debe ser suficiente para evaluar el compromiso acordado. Cuando existan restricciones de detalle, debe fijarse qué evidencia verificable entregará cada proveedor y cómo se revisará. Una afirmación de diversidad necesita respaldo y una fecha de vigencia.

7.10 Qué verificar y con qué evidencia

La anatomía se convierte en una herramienta de aceptación cuando cada componente del dibujo puede relacionarse con un registro. La siguiente matriz propone comprobaciones para el expediente del servicio. Los métodos y límites deben fijarse antes de medir, de acuerdo con el sistema y el contrato.

Tabla 7.2. Qué verificar y con qué evidencia

Ámbito	Comprobación propuesta	Evidencia que debe relacionarse
Sistema y ruta	Identidad de estaciones, secciones, ramificaciones y entrega terrestre.	Diagrama vigente y recorrido del servicio con demarcaciones.
Cable y fibras	Tipos de cable, pares asignados, uniones y referencias ópticas.	Inventario, registros de construcción y mediciones del alcance aplicable.
Transmisión	Canales, interfaces, configuración, errores y márgenes pertinentes.	Resultados y contadores de los extremos con condiciones de observación.
Alimentación	Configuración normal y comportamiento previsto ante contingencias.	Esquema autorizado, presupuesto y registros de pruebas aplicables.
Supervisión	Fuentes de datos, acceso, actualización y mecanismos de observación.	Mapa de gestión, registros de alarmas y pruebas de pérdida de visibilidad.
Servicio contratado	Entrega normal y comportamiento en los escenarios de falla acordados.	Pruebas por capa, resultados del servicio y pendientes identificados.

Un resultado necesita indicar dónde se obtuvo, cuándo, con qué configuración y qué criterio se utilizó. Deben distinguirse las pruebas del fabricante, la aceptación del sistema y la aceptación del circuito entregado al cliente. Sus alcances pueden ser diferentes y ninguno debe ampliarse por inferencia.

7.11 Caso de pérdida de supervisión con tráfico activo

Consideremos un caso ficticio. El centro de operación deja de recibir información de una estación y el tablero muestra varios elementos como inaccesibles. Un cliente del data center informa que su conexión internacional sigue funcionando. La primera hipótesis de un corte submarino todavía no cuenta con evidencia suficiente.

El equipo de operación comprueba que el servicio del cliente transmite tráfico y revisa sus indicadores desde los puntos disponibles. Mediante el acceso local autorizado confirma que los terminales y el PFE no presentan el mismo estado de incomunicación que muestra el tablero remoto. También identifica que las últimas muestras del centro de operación quedaron detenidas en una misma hora.

La investigación encuentra una falla en el acceso de gestión entre el centro de operación y la estación. En este caso, se ha perdido visibilidad remota y no se ha interrumpido la transmisión del cliente. La restauración debe recuperar la gestión y comprobar la continuidad temporal de los datos, las alarmas y los registros.

El diagnóstico debe conservar una limitación: el tráfico observado demuestra funcionamiento en los extremos y condiciones comprobados, pero no certifica por sí solo el estado de todos los elementos del sistema. Mientras falte supervisión, deben informarse los datos que no pudieron obtenerse y el mecanismo de observación disponible.

La evidencia de cierre reúne la cronología, los resultados del servicio, el estado local registrado, la causa de la pérdida de acceso y la verificación posterior. El dibujo de supervisión permite separar la falla de gestión de una falla óptica o eléctrica, y evita atribuir a todos los componentes una misma condición sin comprobarla.

7.12 Preparar la ficha anatómica de una conexión internacional

El resultado de este capítulo debe ser una ficha que permita reconocer el sistema utilizado por una conexión. Debe conservar los dibujos funcionales y relacionarlos con los recursos y responsables del servicio.

1. Identidad del sistema, estaciones y extremos de la conexión.
2. Secciones de cable, tipos, pares o recursos ópticos asignados y uniones relevantes.
3. Repetidores, ramificaciones y mapa de conectividad que utiliza el servicio.
4. Terminales, interfaces y conexión con el transporte terrestre.
5. Configuración de alimentación y dependencias durante contingencias, cuando corresponda.
6. Fuentes de supervisión, acceso de gestión y mecanismos de observación disponibles.
7. Demarcaciones, responsables, evidencias de aceptación y restricciones de información.
8. Versión, fecha de verificación, cambios y comprobaciones pendientes.

Entrega del capítulo. Esquema funcional con límites de acceso y responsables.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué componentes del sistema submarino utiliza el servicio y dónde comienzan y terminan sus responsabilidades?
2. ¿Qué diferencia existe entre el número de fibras, los canales ópticos y la capacidad contratada?
3. ¿La unidad de ramificación conecta los destinos requeridos y qué recursos asigna a cada trayecto?
4. ¿Qué camino alimenta los equipos sumergidos y qué ocurre durante las contingencias previstas?
5. ¿El sistema sin repetidores eléctricos utiliza amplificación remota y cómo recibe su energía?
6. ¿Una alarma de inaccesibilidad describe la transmisión, la alimentación o el acceso de gestión, y qué evidencia lo confirma?

Capítulo 8 Aterrizaje y estación de amarre

Al terminar este capítulo, el lector podrá Seguir el aterrizaje hasta los terminales y el backhaul.

Términos esenciales. BMH = cámara de playa; CLS = estación de amarre.

La llegada del cable a tierra enlaza dos entornos de ingeniería: el recorrido marino y la infraestructura terrestre. En ese punto deben coordinarse la protección costera, las uniones del cable, los accesos hasta la estación y los equipos que permiten transmitir, alimentar y supervisar el sistema. La continuidad del servicio depende de que esas interfaces funcionen como un conjunto.

Para un data center, conocer la playa de llegada es solo el comienzo. Debemos identificar dónde se encuentra la estación de amarre, qué tramo la comunica con la costa, dónde termina la señal submarina y cómo continúa hacia el campus. Esa reconstrucción permite comprobar las rutas que se ofrecen al cliente y asignar responsabilidades de entrega y operación.

Este capítulo sigue el aterrizaje hasta la conexión con la red terrestre. Utiliza un perfil costero y un esquema que separa los trayectos óptico, eléctrico y de supervisión. Los dibujos representan funciones y relaciones; la construcción real y las maniobras deben responder al proyecto y a los procedimientos del sistema.

8.1 Situar el aterrizaje dentro del recorrido

Conviene distinguir el punto donde el cable alcanza la costa, la cámara de playa y la estación de amarre. La cámara de playa, o BMH por beach manhole, puede alojar la unión entre cable marino y cable terrestre. La estación, CLS por cable landing station, reúne los equipos y servicios que correspondan a la arquitectura. VIAVI presenta estos elementos como partes diferenciadas del recorrido. [62]

En este capítulo utilizamos fronthaul para el tramo entre BMH y CLS, y backhaul para la conexión desde la estación hacia los nodos terrestres. Vela Infrastructure emplea esa distinción en su descripción de servicios de aterrizaje. El contrato debe identificar los extremos y las funciones efectivas, porque los nombres utilizados por distintos proveedores pueden variar. [63]

Tabla 8.1. Situar el aterrizaje dentro del recorrido

Elemento	Función en el recorrido	Relación que debe documentarse
Llegada costera	Transición entre el tramo marino y la infraestructura de costa.	Ruta, protección y método constructivo.
BMH	Cámara de transición y unión cuando así lo establece el diseño.	Empalmes, entradas, cable y acceso para intervención.
Fronthaul	Conexión entre la BMH y la estación.	Conductos, cámaras, cable y continuidad hasta la CLS.
CLS	Alojamiento de las funciones de estación previstas.	Terminales, alimentación, supervisión y soporte.
Conexión interior	Continuación hacia un PoP o data center.	Dominio óptico o servicio terrestre e interfaces de entrega.

La distancia entre estos elementos debe figurar en el proyecto, junto con las rutas y los derechos de acceso que correspondan. La ubicación de una estación junto a la costa no acredita por sí sola la existencia de una entrega disponible en un campus interior.

8.2 Seleccionar y construir el cruce costero

El cruce costero debe responder a las condiciones del terreno y del mar. El estudio debe considerar el perfil del fondo y de la costa, la estabilidad del suelo, las actividades próximas, el acceso de construcción y las restricciones ambientales. La solución elegida necesita coordinar la obra marina con la obra terrestre y con las autorizaciones aplicables.

Una solución puede utilizar un conducto bajo la costa ejecutado mediante perforación horizontal dirigida, HDD. Otras soluciones utilizan excavación y protección conforme a las condiciones del lugar. La elección requiere ingeniería específica: profundidad, trazado, radios y esfuerzos de tendido deben definirse con los datos geotécnicos y las características del cable.

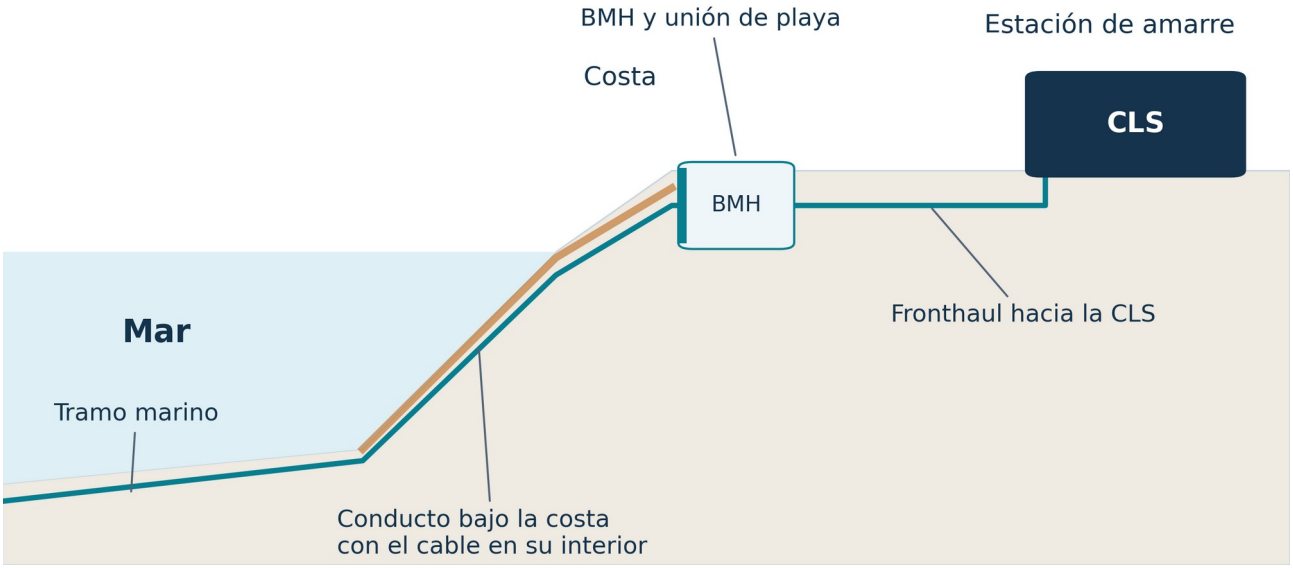


Figura 8.1. Perfil conceptual de un aterrizaje con conducto bajo la costa y unión en BMH. La geometría no representa una profundidad, distancia ni solución constructiva obligatoria. Elaboración propia.

Un ejemplo público es el expediente LAX Transpacific Cable Landing recibido en California en julio de 2025. Su aviso de preparación de evaluación ambiental contemplaba perforaciones costeras, BMH, electrodos y canalizaciones hacia data centers. También diferenciaba la construcción inicial de infraestructura de la instalación posterior de cables. Ese documento describe un proyecto propuesto y no acredita su terminación. [64]

El calendario debe conservar esos hitos por separado. Un conducto instalado necesita comprobarse antes de recibir el cable; un cable tendido necesita uniones, terminaciones y pruebas. La recepción debe relacionar cada resultado con la fase y el alcance ejecutados.

8.3 Cámara de playa y unión de transición

La BMH permite organizar una interfaz que después debe seguir siendo accesible para mantenimiento. Su diseño debe resolver entradas de conductos, espacio de trabajo, sujeción y reserva de cable, identificación y protección de las uniones. La gestión del agua y la conservación del acceso deben definirse para las condiciones del lugar.

Cuando el proyecto incorpora una unión de playa, esta conecta el cable submarino con el cable terrestre del sistema. La definición de beach joint de UIT-T G.972 identifica esa transición. En sistemas con alimentación eléctrica de equipos sumergidos, la unión también debe respetar el diseño del conductor y del aislamiento, además de la continuidad de las fibras. [53]

La cámara debe tener identidad propia en los planos y el inventario. El expediente debe relacionar sus entradas con los cables y empalmes que contiene. Si la infraestructura es compartida, deben distinguirse los recursos de cada sistema, sus reservas y las condiciones de acceso.

Una intervención sobre la unión puede afectar la continuidad óptica o eléctrica. La autorización del trabajo debe identificar el sistema y las condiciones de seguridad aplicables. La entrada a la cámara, el trabajo sobre el cable y la operación del PFE deben coordinarse mediante los procedimientos correspondientes.

8.4 Tramo terrestre entre la playa y la estación

El fronthaul debe tratarse como un tramo de infraestructura con diseño, responsable y aceptación propios. Su expediente debe contener el recorrido ejecutado, las cámaras intermedias, los cruces, los conductos ocupados y de reserva y las condiciones de acceso para conservarlo. La longitud y las pérdidas reales deben incorporarse a la documentación del sistema.

Cuando el PFE está en la CLS, la alimentación de los repetidores recorre el tramo terrestre hasta la playa y continúa por el cable marino. Ese tramo necesita la continuidad del conductor y las características de aislamiento previstas. La fibra que transmite los datos y el circuito eléctrico tienen funciones diferentes aunque compartan parte del recorrido. [53]

El diseño debe fijar qué cable se instalará entre BMH y CLS y cómo se realizarán sus transiciones. Una especificación genérica de fibra exterior resulta insuficiente si deja sin resolver los requisitos eléctricos, mecánicos o de unión del sistema. Las características deben acordarse entre quienes suministran el cable, construyen el tramo e integran el sistema.

También debe comprobarse la disponibilidad de los cruces y accesos necesarios. Un tramo corto puede depender de una autorización vial o de un paso compartido que condicione todo el calendario. La recepción necesita demostrar el recorrido utilizable y su continuidad, además de la longitud de cable instalada.

8.5 Ubicación de la estación y de los terminales ópticos

La CLS debe ubicarse considerando exposición a amenazas, acceso para operación, energía, comunicaciones y conexión con los recorridos terrestres. El proyecto debe relacionar esas condiciones con los equipos que alojará y con las intervenciones previstas durante su vida útil.

En una arquitectura con terminación óptica en la estación, el SLTE transmite y recibe la señal submarina allí. La continuación hacia el data center utiliza las interfaces y el transporte terrestre definidos. Otra arquitectura prolonga el recorrido óptico hasta un SLTE situado en un PoP o data center interior. Ciena describe esta posibilidad y la condiciona a que el diseño conserve margen suficiente para la extensión terrestre. [65]

Una investigación de Franken, Roth y Reuter publicada en 2026 distingue estaciones completas y estaciones de alcance reducido, entre otras configuraciones. Su análisis muestra que la ubicación de los

equipos cambia las interfaces y las dependencias que deben protegerse. Para nuestro proyecto debemos comprobar la distribución concreta de funciones. [66]

Tabla 8.2. Ubicación de la estación y de los terminales ópticos

Configuración posible	Distribución de funciones	Comprobación principal
Terminación en CLS	SLTE en la estación y entrega hacia un transporte terrestre.	Interfaz de salida y aceptación de ambos dominios.
SLTE en un punto interior	Funciones de alimentación en costa y terminal óptico en PoP o data center, según diseño.	Recorrido óptico completo, margen y responsabilidad de la extensión.
CLS integrada con data center	Funciones de estación y de interconexión alojadas en una misma instalación.	Separación de funciones, soporte, accesos y demarcaciones.

La integración de una CLS con un data center es una posibilidad de emplazamiento. Vela indica que ofrece esa combinación en ubicaciones seleccionadas. La proximidad o el alojamiento conjunto deben relacionarse con las interfaces que puede contratar cada cliente. [63]

Una fibra que sale de la estación puede prolongar la línea óptica submarina o formar parte de un sistema terrestre terminado allí. Esa diferencia determina dónde se procesa la señal y qué equipos, presupuestos y pruebas corresponden. El plano debe mostrar la arquitectura y la entrega, además de los edificios.

8.6 Separar los trayectos óptico eléctrico y de supervisión

En el trayecto óptico seguimos las fibras desde la unión de playa hasta su terminación, los paneles y el SLTE. Después identificaremos la interfaz hacia el transporte terrestre o hacia el cliente. Si el SLTE se encuentra en un punto interior, el dibujo debe extenderse hasta esa ubicación.

En el trayecto eléctrico seguimos el conductor desde la terminación hacia el PFE y los retornos previstos por el diseño. Los paneles ópticos no sustituyen esa conexión. La documentación de estación debe permitir identificar qué sistema alimenta cada PFE y qué caminos de contingencia están previstos.

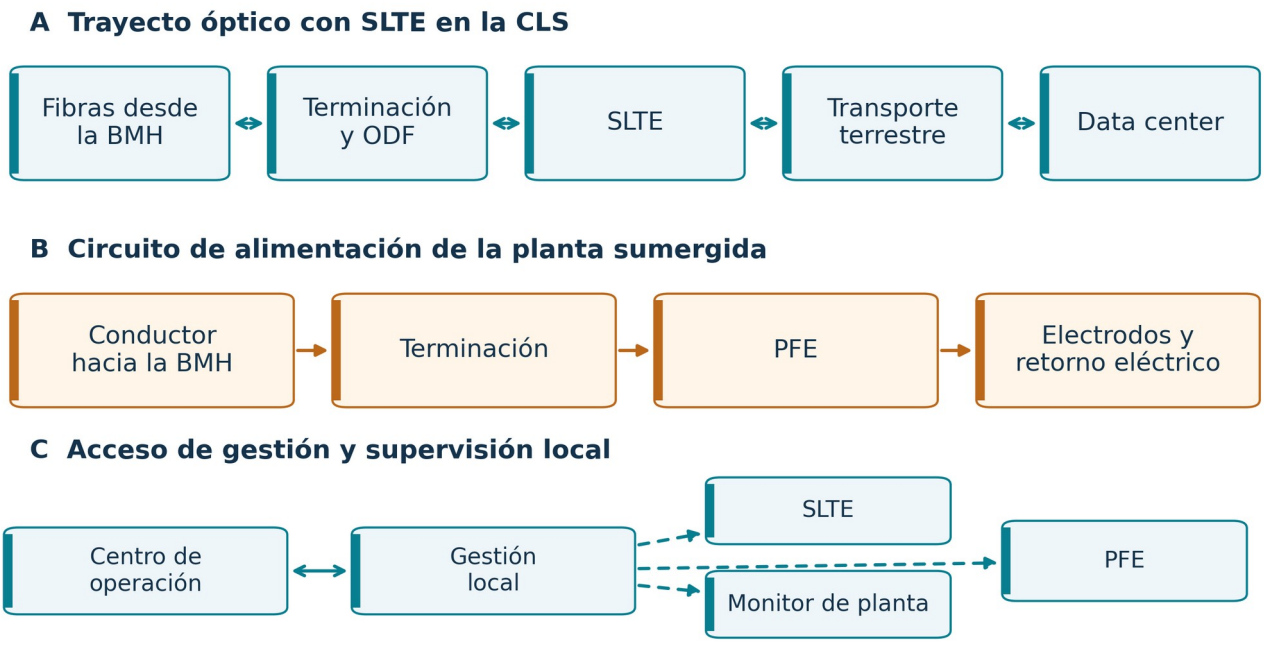


Figura 8.2. Trayectos funcionales de una arquitectura con SLTE en la CLS. La supervisión se representa como relación de gestión y observación. El esquema omite detalles de interfaces y del retorno eléctrico. Elaboración propia.

En supervisión distinguimos el acceso del centro de operación, la gestión local y los mecanismos que observan terminales y planta sumergida. UIT-T G.979 presenta arquitecturas con equipos de monitorización y controladores de mantenimiento. La ubicación y la conexión de esos recursos deben comprobarse en el sistema instalado. [60]

Los tres dibujos deben utilizar los mismos identificadores de estación, cable y equipo. Así puede relacionarse una alarma con el recurso físico afectado y con los servicios que dependen de él. Las líneas de gestión y observación del esquema no demuestran independencia física frente al camino del tráfico.

8.7 Infraestructura de soporte de la estación

La estación necesita condiciones de energía, ambiente y acceso compatibles con sus equipos. El diseño debe considerar carga instalada, crecimiento, distribución eléctrica, respaldo, climatización, detección de incendios y mantenimiento. Debe conservarse la relación entre cada carga y los recursos de soporte que utiliza.

El proyecto de estación de Adelaide descrito por SUBCO ofrece un ejemplo concreto. Su publicación explica una ampliación del diseño para admitir SLTE cuando se requiriera y presenta distribución eléctrica y respaldo redundantes, refrigeración, control de humedad y medidas de acceso. Es una descripción del proyecto del operador y no una especificación universal para todas las CLS. [67]

La capacidad del respaldo debe evaluarse sobre las cargas y escenarios que debe sostener. También deben comprobarse dependencias como combustible, acceso para reposición y operación de la climatización durante una contingencia. Una prueba de alimentación necesita observar el comportamiento de los equipos que prestan el servicio.

Los espacios deben permitir acceso a racks y terminaciones, sustitución de componentes y ampliaciones. Si varios sistemas comparten edificio, deben identificarse las instalaciones comunes y

las condiciones para trabajar sobre ellas sin comprometer otros servicios. El expediente debe conservar esa distribución y sus cambios.

8.8 Interconexión y responsabilidades de entrega

La salida desde la CLS hacia el campus puede ofrecerse mediante fibra, canales ópticos, transporte Ethernet u otros servicios. La oferta debe identificar el punto de entrega, la capacidad, los recursos reservados y las condiciones de aceptación. Cada servicio necesita su propio alcance técnico y comercial.

Cirion presenta servicios de landing party en Latinoamérica que reúnen alojamiento para SLTE y PFE, infraestructura de energía, soporte e interconexión con redes y data centers. Este ejemplo muestra que la operación del aterrizaje puede contratarse como un conjunto de capacidades. La disponibilidad y las condiciones deben verificarse para cada ubicación. [68]

En el proyecto deben asignarse responsabilidades sobre el tramo marino, la unión de playa, el fronthaul, la estación y la continuación terrestre. Cada interfaz debe indicar quién diseña, construye, acepta, opera y autoriza intervenciones. Las funciones pueden estar repartidas entre varias organizaciones o contratadas mediante un integrador.

La matriz de responsabilidades debe acompañar los planos y el calendario. Una fecha de entrega necesita considerar los recursos de terceros, los accesos y las pruebas pendientes. Cuando un proveedor vende el recorrido completo, debe relacionar su compromiso con los participantes que lo hacen posible.

8.9 Riesgos compartidos y diversidad del aterrizaje

La evaluación de riesgo debe abarcar el aterrizaje y su continuación en tierra. La lista pública del ICPC incluye una recomendación dedicada a la seguridad de BMH, fronthaul y CLS. Ese alcance ayuda a situar la protección más allá del edificio de la estación. [69]

Las amenazas naturales también pueden afectar varios componentes a la vez. Una publicación del ICPC sobre ambiente y protección de cables identifica exposición de cables y estaciones a fenómenos como inundaciones, marejadas, sismos y deslizamientos. Las condiciones deben estudiarse para la ubicación y el horizonte del proyecto. [70]

La diversidad requiere revisar los elementos compartidos: una misma cámara, conducto, cruce, estación o instalación de soporte puede vincular varios servicios. Dos cables separados en el océano pueden volver a reunirse en un único corredor terrestre. Debe marcarse esa relación en el recorrido hasta el data center.

La separación geográfica debe evaluarse con las amenazas relevantes y con las alternativas disponibles. Una distancia en metros, sin un análisis del terreno y de las dependencias, no demuestra independencia. Las contingencias acordadas deben indicar qué recursos y capacidad permanecerán utilizables y cómo se verificará ese comportamiento.

8.10 Aceptación integrada del aterrizaje

La recepción debe comprobar el recorrido construido y su funcionamiento con los equipos. La siguiente matriz propone una estructura de aceptación para este libro. Los métodos y límites deben

acordarse según el sistema, la etapa y el servicio contratado. G.976 recuerda la necesidad de entender el propósito de las pruebas y el significado de sus resultados. [50]

Tabla 8.3. Aceptación integrada del aterrizaje

Ámbito	Comprobación propuesta	Evidencia de aceptación
Obra costera	Conformidad del cruce y de las protecciones con el diseño aprobado.	Planos ejecutados, registros de obra y pendientes.
BMH y fronthaul	Identidad, recorrido, conductos, uniones y condiciones de acceso.	Inventario, planos georreferenciados y registro de interfaces.
Medio óptico	Identidad y continuidad de fibras; pérdidas, reflectometría y otras pruebas según el alcance.	Archivos originales, configuración, extremos y criterios.
Circuito eléctrico	Continuidad, aislamiento y retornos conforme al plan aplicable.	Resultados y configuración autorizada del sistema.
Terminales	Interfaces, canales, errores, FEC y márgenes pertinentes.	Registros de extremos y resultados bajo condiciones definidas.
Supervisión	Acceso, actualización, alarmas y observación desde los puntos previstos.	Series temporales, pruebas y registro de eventos.
Soporte y contingencia	Comportamiento de cargas y servicios en los escenarios acordados.	Cronología, resultados, recuperación y restricciones.
Entrega del servicio	Capacidad, pérdida, retardo, variación y throughput según contrato.	Pruebas por capa, extremos y acta con pendientes identificados.

Las pruebas ópticas y eléctricas requieren procedimientos y personal autorizados para las condiciones del sistema. La selección del instrumento debe respetar los puntos de acceso disponibles. Un resultado del fronthaul conserva ese alcance; la aceptación del sistema submarino y del servicio completo exige sus evidencias correspondientes.

El expediente debe permitir reconstruir la configuración aceptada. Además de informes, debe reunir los archivos originales, las versiones de planos y las modificaciones realizadas durante las pruebas. Los pendientes deben tener responsable, efecto sobre la entrega y criterio de cierre.

8.11 Caso de una estación terminada con el enlace incompleto

Consideremos un caso ficticio. El edificio de la CLS está terminado y los equipos previstos se encuentran instalados. El cable marino ha llegado a la BMH. Un informe comercial presenta ambos hitos como evidencia de que la conexión hacia el campus está lista.

La revisión del recorrido encuentra que el fronthaul permanece incompleto en un cruce vial. El contratista marino había cerrado su alcance en la unión de playa y el contratista del edificio en las entradas de la estación. Ninguno de esos cierres acreditaba continuidad entre los dos puntos.

La comprobación comienza al contrastar el plano ejecutado, los límites de los contratos y los registros de aceptación. El trazado previsto se había confundido con el tramo terminado. El problema debe registrarse como una interfaz pendiente, con responsable y nueva secuencia de entrega.

La solución requiere completar y aceptar la obra pendiente, verificar los cables y uniones y ejecutar las pruebas del sistema y del servicio que correspondan. La recepción final debe demostrar la continuidad completa y relacionarla con la configuración puesta en operación.

El caso muestra por qué una estación equipada y un cable desembarcado necesitan una integración verificable. El responsable de conectividad debe conservar el recorrido completo, los límites de cada entrega y las dependencias del calendario, incluso cuando intervengan varios contratistas.

8.12 Preparar la ficha del aterrizaje y la estación

La ficha debe permitir seguir el cable desde el mar hasta la interfaz que continuará hacia el campus. Debe reunir el recorrido y las responsabilidades con la versión aceptada de las instalaciones.

1. Identidad del sistema, punto de aterrizaje, BMH y CLS.
2. Solución costera, cruce, protecciones y documentación de obra ejecutada.
3. Fronthaul, cámaras, conductos, cables, uniones y accesos.
4. Ubicación de SLTE, PFE, terminaciones y equipos de supervisión.
5. Trayectos óptico, eléctrico y de gestión con identificadores comunes.
6. Infraestructura de soporte, recursos compartidos y escenarios de contingencia.
7. Interfaz hacia el transporte terrestre, PoP o data center y condiciones de entrega.
8. Responsables, evidencias de aceptación, versiones y pendientes.

Entrega del capítulo. Plano de relaciones entre costa estación y salida terrestre.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Están identificados por separado el punto de llegada, la BMH, el fronthaul y la CLS?
2. ¿La documentación acredita el recorrido construido y las uniones, además del trazado previsto?
3. ¿Dónde se encuentra el SLTE y qué función cumple el tramo hacia el data center?
4. ¿Qué camino sigue la alimentación de los equipos sumergidos y qué dependencias comparte?
5. ¿Cada interfaz tiene responsable de entrega, aceptación y operación?
6. ¿Qué pruebas demuestran la continuidad del recorrido y el servicio disponible durante las contingencias acordadas?

Capítulo 9 Transmisión óptica y límites del sistema

Al terminar este capítulo, el lector podrá Relacionar calidad óptica modo de transmisión y capacidad útil.

Términos esenciales. FEC = corrección de errores; margen = diferencia frente al requisito del modo.

La capacidad de una conexión óptica depende de la señal que el receptor puede recuperar al final del recorrido. La fibra, los amplificadores y los terminales determinan qué modo de transmisión puede operar y cuánto margen conserva. Por eso, una potencia recibida dentro del rango permitido debe acompañarse de información sobre ruido, errores y condiciones de operación.

En el capítulo anterior ubicamos el SLTE y separamos los trayectos óptico, eléctrico y de supervisión. Ahora seguimos la señal entre terminales para explicar cómo se relacionan amplificación, modulación, procesamiento digital y corrección de errores. El objetivo es interpretar una propuesta de capacidad y las evidencias que la respaldan.

Las comparaciones requieren identificar el tramo, el modo y la métrica. Una cifra de alcance publicada para un transceptor, o una medición aislada de calidad, necesita sus condiciones para aplicarse a una conexión concreta. Los ejemplos numéricos de este capítulo son didácticos y se presentan separados de las especificaciones de los fabricantes.

9.1 Definir el tramo que se va a evaluar

Primero debemos localizar los dos terminales que delimitan la transmisión. Si el SLTE está en la estación de amarre, la línea submarina termina allí y la continuación terrestre tiene su propio presupuesto. Si el terminal se encuentra en un punto interior, esa extensión forma parte del recorrido óptico que debe evaluarse. Conservamos la arquitectura identificada en el capítulo 8.

El extremo transmisor adapta la información del cliente, aplica la codificación prevista y modula una portadora óptica. El receptor coherente utiliza un oscilador local para recuperar información de amplitud y fase; la doble polarización permite transmitir información en dos polarizaciones. Ciena explica estas funciones como la base de la transmisión coherente. [71]

El expediente debe distinguir la interfaz del cliente de la interfaz de línea. Cada una puede tener trama, velocidad y FEC propios. El acuerdo 400ZR de OIF muestra funciones diferenciadas de adaptación del cliente y codificación de línea; por ello, un contador de errores debe asociarse con el punto del procesamiento donde se obtiene. [72]

9.2 Pérdidas y amplificación

La atenuación reduce la potencia durante la propagación y las conexiones añaden pérdidas. Expresaremos la potencia absoluta en dBm y las pérdidas o ganancias en dB. En un tramo pasivo, una entrada de 0 dBm y una pérdida total de 10 dB producen una salida de −10 dBm. Este balance elemental ayuda a revisar conexiones, pero una cadena amplificada necesita además un presupuesto de calidad.

Un amplificador EDFA aumenta la potencia mediante fibra dopada con erbio. También introduce emisión espontánea amplificada, ASE. En una sucesión de amplificadores ese ruido se acumula y limita la relación entre señal y ruido. Recuperar el nivel óptico después de un tramo no reconstruye por sí

mismo los bits recibidos. La descripción técnica de IEEE identifica la ASE como una limitación de las cadenas EDFA. [73]

La amplificación óptica debe distinguirse de la regeneración con recuperación de información. En los sistemas submarinos amplificados descritos por UIT-T G Suplemento 41, la regeneración se realiza en los terminales; entre ellos se acumulan degradaciones de propagación y ruido. El presupuesto debe corresponder a la sección digital completa. [74]

La amplificación Raman utiliza bombeo óptico y puede distribuir ganancia en la fibra de transmisión. Cisco describe configuraciones distribuidas y su combinación con EDFA. Su empleo modifica el presupuesto y exige conocer la arquitectura instalada; las prestaciones de una configuración particular no deben generalizarse a todo enlace submarino o terrestre. [75]

Para interpretar una medición necesitamos conocer dónde se tomó y qué amplificadores quedan antes y después. Dos puntos con la misma potencia pueden presentar ruido acumulado y calidad diferentes. El informe debe conservar tanto los niveles por canal como los límites de entrada y salida aplicables a cada equipo.

9.3 Modulación y velocidad de símbolo

La modulación asigna información a estados de la señal. QPSK dispone de cuatro estados y transporta dos bits por símbolo y polarización; 16QAM dispone de dieciséis y transporta cuatro. A igualdad de velocidad de símbolos y polarizaciones, aumentar los estados eleva la tasa bruta, pero exige distinguir estados más próximos y demanda mayor calidad. Cisco presenta esta relación entre constelación, polarización y tasa. [76]

Tabla 9.1. Modulación y velocidad de símbolo

Formato uniforme	Bits por símbolo y polarización	Bits con dos polarizaciones
QPSK	2	4
16QAM	4	8
64QAM	6	12

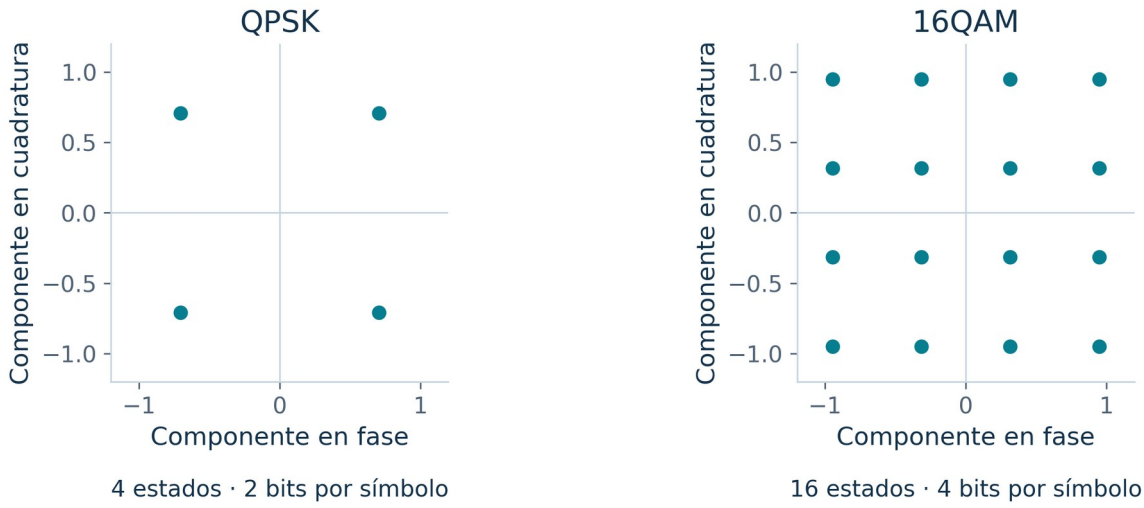


Figura 9.1. Constelaciones ideales QPSK y 16QAM normalizadas a la misma energía media por símbolo. Se representa una polarización. La separación entre puntos ayuda a explicar la distinta sensibilidad al ruido. Elaboración propia.

La velocidad de símbolo se expresa en baud: 64 GBd representan 64 mil millones de símbolos por segundo. En un ejemplo con modulación uniforme DP 16QAM, la tasa bruta de los símbolos es $64 \times 4 \times 2 = 512$ Gb/s. La doble polarización ya está incluida en el factor dos; no debe contarse nuevamente.

Si suponemos únicamente una sobrecarga de FEC del 25 % respecto de los bits de entrada al codificador, la tasa que quedaría antes de otras sobrecargas sería $\frac{512}{1{,}25} = 409{,}6$ Gb/s. El cálculo no representa un producto comercial ni su throughput: faltaría considerar trama, adaptación y protocolos. Tampoco equivale a restar el 25 % de la tasa bruta, porque el porcentaje se definió sobre la entrada al codificador.

Las configuraciones con probabilidades de símbolos no uniformes requieren utilizar la tasa de información efectiva de su modo. La cuenta basada solo en el número de puntos de la constelación deja de describir toda la adaptación. Juniper explica que el conformado probabilístico permite ajustar el uso de símbolos y la tasa a las condiciones del enlace. [77]

9.4 Procesamiento digital y dispersión

El procesador digital de señal, DSP, procesa las muestras obtenidas por el receptor y permite compensar degradaciones dentro de su capacidad. Entre sus funciones se encuentran la compensación de dispersión cromática y la recuperación de portadora. La documentación de Juniper describe estas tareas; Ciena también identifica compensación digital de dispersión cromática y de modos de polarización. [77, 71]

La dispersión cromática, CD, relaciona el retardo con la longitud de onda. Debemos distinguir el coeficiente de la fibra, expresado habitualmente en ps/(nm·km), de la dispersión acumulada del recorrido, expresada en ps/nm. Una tolerancia del receptor debe compararse con la magnitud acumulada y con la configuración para la que fue especificada.

La PMD requiere un tratamiento estadístico. El retardo diferencial de grupo, DGD, se expresa en ps y puede variar con el tiempo y la longitud de onda. El coeficiente de PMD suele expresarse en ps/√km en

el régimen de acoplamiento aleatorio. EXFO explica esta diferencia y UIT-T G.978 remite al tratamiento estadístico de G.650.2. [78, 79]

La pérdida dependiente de la polarización, PDL, añade otra condición que debe respetar el diseño. Tener compensación digital no concede tolerancia ilimitada a dispersión, pérdidas o ruido. El modelo de terminal y el modo activo deben acompañar los límites garantizados. Una estimación de DGD obtenida por telemetría tampoco sustituye automáticamente una caracterización de PMD con alcance y método definidos.

9.5 Espectro y potencia de los canales

Un sistema WDM transporta varios canales en una fibra. Cada canal necesita espacio espectral y debe atravesar los filtros previstos. El proyecto debe relacionar frecuencia central, velocidad de símbolo, forma espectral y ancho de la ranura. Los GHz de una ranura describen espectro; los Gb/s describen tasa de información. La relación depende del modo de transmisión.

La potencia también debe evaluarse por canal y para el conjunto. Aumentarla puede mejorar la relación frente al ruido en determinadas condiciones y, a la vez, aumentar degradaciones no lineales. El estudio de Nokia Bell Labs sobre monitorización de no linealidad y optimización de potencia de lanzamiento utiliza precisamente la existencia de una potencia óptima. El ajuste debe realizarse con el diseño y los procedimientos del operador. [80]

El informe debe indicar qué canales estaban presentes durante la prueba y cómo se representaba la carga restante. Una medición con carga parcial no acredita por sí sola la condición futura del sistema. La comparación exige mantener o modelar las condiciones de carga, potencia y filtrado. El capítulo 10 desarrollará la relación entre espectro, terminales y evolución de capacidad.

9.6 OSNR y calidad de la señal

La OSNR relaciona la potencia de señal con el ruido óptico referido a un ancho de banda. El resultado debe incluir ese ancho de referencia, frecuentemente 0,1 nm, y el método utilizado. EXFO explica que las señales coherentes y el filtrado requieren métodos adecuados; estimar ruido entre canales no es válido para cualquier configuración. [81]

En ingeniería coherente también aparecen GSNR y ESNR. El manual de Ciena utiliza GSNR para caracterizar contribuciones de ruido de la línea y ESNR para representar la calidad efectiva incluyendo el comportamiento del módem y otras degradaciones. Estas magnitudes ayudan a relacionar la planta óptica con el terminal elegido. [82]

Tabla 9.2. OSNR y calidad de la señal

Magnitud	Qué expresa en este contexto	Dato necesario para interpretarla
Potencia recibida	Nivel óptico en un punto.	Punto de referencia, canal y rango del receptor.
OSNR	Señal frente al ruido óptico.	Método y ancho de banda de referencia.
GSNR	Calidad generalizada de la línea según el modelo.	Contribuciones incluidas y método de estimación.

Magnitud	Qué expresa en este contexto	Dato necesario para interpretarla
ESNR y Q	Indicadores de calidad asociados con el terminal y el modo.	Definición, algoritmo y umbral aplicable.

El nombre del indicador debe verificarse en la documentación. OIF, por ejemplo, define eSNR dentro de un perfil concreto de 400ZR. Debemos registrar esa definición antes de comparar resultados con otro fabricante o perfil. Una cifra en dB no garantiza que dos indicadores representen la misma magnitud. [72]

El factor Q expresa calidad de señal y puede estimarse a partir de errores según el modelo del equipo. Ciena muestra que un margen expresado en dBQ no es intercambiable numéricamente con un margen de SNR: la relación cambia con el modo. Las conversiones deben proceder del modelo y la calibración correspondientes. [82]

9.7 FEC y errores de transmisión

La corrección de errores hacia adelante, FEC, agrega redundancia en transmisión y la utiliza en recepción para corregir errores sin solicitar la retransmisión de cada dato. Juniper describe este proceso de codificación y decodificación. Su capacidad depende del código y de las condiciones de error. [77]

El BER antes de FEC informa de errores previos a la corrección; el BER después de FEC informa del resultado tras decodificar en el punto indicado. También pueden existir contadores de bits corregidos, palabras no corregibles y eventos de degradación. La guía de Cisco para ópticas coherentes presenta estos indicadores por separado y permite seguirlos en intervalos de monitorización. [83]

Observar cero errores después de FEC durante una ventana demuestra lo observado en esa ventana. Para valorar estabilidad y reserva debemos acompañarlo del estado del decodificador, las tendencias previas a FEC, los eventos y el margen definido para el modo. El informe debe distinguir un BER medido de uno estimado por el equipo, y un contador válido de un dato no disponible.

Los códigos y sus umbrales varían. UIT-T G.975.1 trata funciones de FEC para sistemas submarinos DWDM, pero su existencia no determina qué código emplea cualquier terminal moderno. El contrato y la aceptación deben identificar el esquema efectivo y la referencia técnica que lo especifica. [84]

Las pruebas deben conservar duración, número de bits o bloques observados cuando corresponda, patrón o tráfico, errores y criterio estadístico acordado. Un promedio puede ocultar ráfagas: conviene revisar la evolución temporal y los bloques no corregibles, además del valor agregado. La selección del ensayo y del punto de acceso se desarrollará en los capítulos de pruebas.

9.8 Capacidad alcance y latencia

La capacidad aceptable de un canal es la que puede sostener el modo seleccionado sobre el recorrido y con la reserva exigida. Dos trayectos de igual longitud pueden tener pérdidas, amplificadores, filtrado y calidad distintos. Por eso, el alcance debe expresarse con las condiciones de diseño que lo hacen posible.

La elección puede cambiar entre terminales de una misma familia. La documentación de Cisco muestra módulos con distintas combinaciones de velocidad, modulación, FEC y tolerancia a dispersión. La

etiqueta de velocidad máxima del equipo debe acompañarse de la configuración admitida y validada en el enlace. [83]

También debemos separar tasa de línea, capacidad útil e interfaz de cliente. La aceptación óptica comprueba el transporte en su dominio. El throughput de una aplicación depende además del servicio contratado, los equipos de red, los protocolos y la carga. Una línea que cumple su presupuesto óptico necesita las pruebas del servicio para demostrar la entrega al cliente.

La latencia combina propagación y procesamiento, y puede incorporar colas según el servicio. Como cálculo ilustrativo, un recorrido de 2.000 km con una velocidad de propagación supuesta de 200 000 km/s aporta 10 ms en un sentido. Ese valor excluye terminales, adaptación y red de paquetes. Una tasa mayor no reduce automáticamente ese tiempo de propagación.

El retardo óptico en ps asociado con CD o DGD tampoco equivale al jitter de paquetes expresado como variación del retardo. Cada medida necesita su capa, extremos y método. Esa separación permitirá interpretar después las pruebas de latencia, variación y throughput sin atribuir todo resultado a la fibra.

9.9 Margen al inicio y al final de la vida útil

Un enlace necesita reserva entre su condición de operación y el límite del modo. Esa reserva debe expresarse con una métrica y un umbral compatibles. En una representación simplificada en dB, comparamos la calidad disponible con el requisito del modo y descontaremos las provisiones acordadas. Cada penalización debe contabilizarse una sola vez.

UIT-T G Suplemento 41 distingue el presupuesto al inicio de vida, BoL, y al final de vida, EoL. El segundo incorpora previsiones como envejecimiento, reparaciones y determinadas fallas. La aceptación inicial debe relacionarse con esas reservas y con el horizonte contractual. [74]

El presupuesto debe separar las degradaciones ya incluidas en el valor disponible de las provisiones futuras. Si un modelo entrega calidad EoL después de descontar reparaciones, volver a restar la misma partida reduce el margen dos veces. Si entrega una condición inicial, omitir esa reserva presenta una capacidad que puede no sostenerse durante el periodo acordado.

Además del cálculo necesitamos observar la estabilidad. El expediente debe indicar qué variaciones, carga de canales y condiciones ambientales cubre la aceptación. El margen pertenece a una configuración documentada: después de cambios de modo, terminal, ruta o carga debemos comprobar su vigencia.

9.10 Documentar las condiciones de medición

Para este libro proponemos que todo resultado se entregue con los siguientes datos. La matriz organiza la interpretación; los límites de aceptación deben proceder de la especificación aplicable al sistema y al servicio.

Tabla 9.3. Documentar las condiciones de medición

Campo	Información que debe conservarse	Uso en la revisión
Tramo y dirección	Terminales, fibra, canal y puntos de referencia.	Comparar el mismo recorrido y sentido.
Modo	Modelo, versión, tasa, baud, modulación y FEC.	Identificar el umbral correspondiente.
Carga y potencia	Canales presentes, carga representada y niveles.	Relacionar el ensayo con el escenario de diseño.
Medio e interfaces	Pérdidas, CD, PMD, filtros y límites pertinentes.	Comprobar compatibilidad con el terminal.
Métrica y método	OSNR, GSNR, ESNR, Q u otra definición exacta.	Evitar equivalencias incorrectas.
Instrumentación	Equipo, versión, referencia, ajustes e incertidumbre aplicable.	Conocer la calidad del resultado.
Tiempo y errores	Ventana, sincronización, intervalos y contadores válidos.	Reconstruir eventos y estabilidad.
Margen y aceptación	BoL o EoL, provisiones, límite y resultado.	Demostrar cumplimiento con reserva.

Un valor procedente del DSP y otro obtenido por un instrumento externo deben conservar su origen. Antes de discutir una diferencia necesitamos comprobar que representan la misma magnitud, referencia y condición. Las estimaciones internas son útiles para operación; la aceptación debe definir cómo se utilizarán y qué contraste corresponde.

Las conclusiones deben conservar su alcance. Una medición de potencia verifica niveles; una reflectometría caracteriza lo observable con su método; una prueba de errores evalúa una configuración durante su ventana. El expediente debe reunir esas evidencias y las pruebas del servicio, manteniendo sus extremos y criterios.

9.11 Caso de un enlace operativo con margen insuficiente

Consideremos un ejemplo ficticio con dos modos compatibles con los terminales del caso. La ESNR observada en la condición evaluada es de 19,0 dB. Supondremos una provisión futura de 1,5 dB todavía no descontada. Los requisitos de ambos modos se expresan en la misma definición de ESNR y para el mismo criterio de errores.

Tabla 9.4. Caso de un enlace operativo con margen insuficiente

Dato ilustrativo	Modo A	Modo B
Capacidad útil supuesta	400 Gb/s	300 Gb/s
ESNR disponible inicial	19,0 dB	19,0 dB
Requisito del modo	18,0 dB	15,5 dB

Dato ilustrativo	Modo A	Modo B
Provisión futura acordada	1,5 dB	1,5 dB
Margen tras la provisión	−0,5 dB	2,0 dB

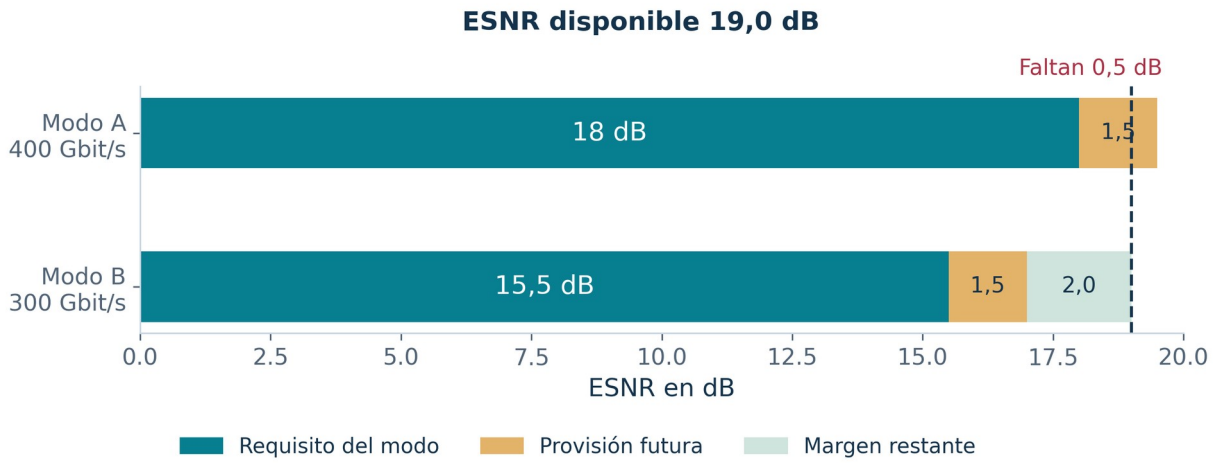


Figura 9.2. Comparación didáctica entre calidad disponible y requisito con provisión. El modo A queda 0,5 dB por debajo del objetivo; el modo B conserva 2,0 dB. Los valores son ficticios y no representan especificaciones de un producto. Elaboración propia.

El cálculo del modo A es $19{,}0 - 18{,}0 - 1{,}5 = -0{,}5$ dB. Puede transportar tráfico en la condición inicial y mostrar una ventana sin errores después de FEC, pero no cumple la provisión exigida. El modo B conserva $19{,}0 - 15{,}5 - 1{,}5 = 2{,}0$ dB, a cambio de la menor capacidad útil supuesta.

La decisión requiere comprobar el escenario del presupuesto y las alternativas técnicas. Podría revisarse el modo, corregirse una degradación o replantearse la entrega. Si cambian el terminal o las condiciones, deben recalcularse y validarse los valores. El resultado comercial debe recoger la capacidad aceptada con sus condiciones y la reserva acordada.

9.12 Preparar la ficha de transmisión

La ficha debe permitir reconstruir qué configuración sostiene la capacidad ofrecida. Debe acompañar el recorrido del capítulo 8 y relacionarse con las evidencias de puesta en servicio.

1. Terminales, ubicación, dirección, fibras, canales y puntos de referencia.
2. Modelo y versión de los equipos, modo, velocidad de símbolo, modulación y FEC.
3. Tasa bruta, capacidad útil de línea, interfaces y alcance del servicio entregado.
4. Pérdidas, amplificación, dispersión, filtrado y límites del medio y del receptor.
5. Carga de canales, potencia y condiciones representadas en el diseño y en la medición.
6. Definición de métricas, origen de datos, instrumentos y configuración de las pruebas.
7. Errores, eventos, series temporales y duración de la observación.
8. Presupuesto BoL y EoL, provisiones, margen, criterios de aceptación y responsables.

Entrega del capítulo. Presupuesto de calidad con condiciones y estado de carga.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Dónde empieza y termina el recorrido óptico al que se atribuye la capacidad?
2. ¿La velocidad indicada corresponde a símbolos, línea bruta, capacidad útil o servicio al cliente?
3. ¿Qué modo, FEC y definición de calidad se utilizaron para establecer el umbral?
4. ¿Los resultados incluyen carga de canales, dirección, duración y condiciones de medición?
5. ¿Qué demuestra el BER después de FEC y qué información conserva el resultado antes de FEC?
6. ¿El margen incluye envejecimiento y reparaciones una sola vez y para el horizonte acordado?
7. ¿Qué capacidad cumple el presupuesto y las pruebas del servicio en la configuración aceptada?

Capítulo 10 Cables abiertos y evolución de capacidad

Al terminar este capítulo, el lector podrá Evaluar apertura y crecimiento sin confundir espectro con servicio.

Términos esenciales. Sistema abierto = interfaces y responsabilidades definidas; SDM = multiplexación espacial.

Un cable submarino puede conservar su planta sumergida durante sucesivas generaciones de terminales ópticos. La capacidad que se obtiene en cada etapa depende de las interfaces, el espectro, los recursos de alimentación y el margen del sistema. El modelo de cable abierto permite separar decisiones de suministro, siempre que las partes se integren y acepten con especificaciones compatibles.

Para un data center, esa posibilidad interesa porque permite ampliar conexiones internacionales a medida que crece la demanda. La decisión requiere saber qué recursos existen, cuáles están equipados y qué capacidad puede entregarse en una fecha determinada. También debe comprobarse cuánto servicio permanece disponible cuando falla un recurso del recorrido.

En este capítulo estudiamos apertura técnica, uso del espectro y multiplexación espacial. Después organizamos cinco estados de capacidad y los aplicamos a un caso ficticio. Mantendremos la distinción del capítulo 9 entre prestaciones del medio, configuración de los terminales y servicio aceptado.

10.1 Qué significa que un cable sea abierto

En el modelo de cable abierto, la planta sumergida y el equipo terminal SLTE pueden suministrarse por separado. Ciena describe esta separación como una forma de elegir y renovar terminales durante la vida del cable. La apertura exige especificar el comportamiento de la planta y las condiciones de los equipos que se conectarán a ella. [85]

La compatibilidad debe identificarse para cada aplicación. UIT-T G.977.1 trata aplicaciones DWDM sobre sistemas submarinos con repetidores y define una configuración donde los terminales de cada enlace pertenecen al mismo fabricante, aunque este sea diferente del proveedor de la planta sumergida. Esa apertura no presupone que puedan combinarse arbitrariamente terminales distintos en los extremos de un mismo canal. [86]

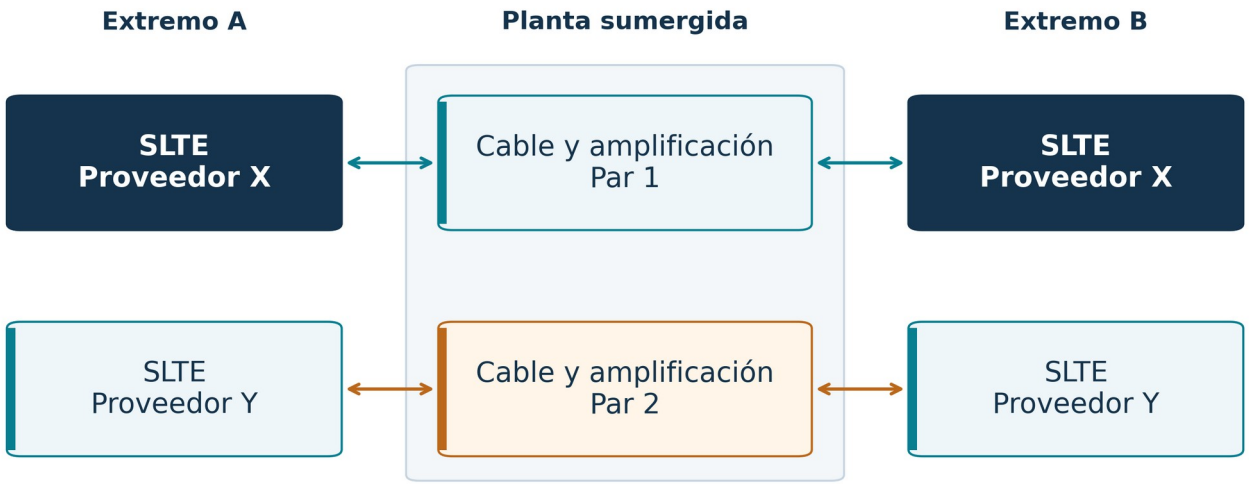


Figura 10.1. Ejemplo conceptual de apertura entre planta sumergida y terminales sobre pares diferentes. Cada enlace conserva terminales compatibles en ambos extremos. El dibujo no acredita independencia física ni eléctrica entre pares. Elaboración propia.

El alcance comercial debe describirse por separado. Un sistema técnicamente abierto puede tener recursos ya asignados, acceso restringido o condiciones de contratación determinadas. La oferta debe identificar qué puede usar el cliente, dónde se entrega y quién opera cada parte. La neutralidad comercial de un data center también necesita sus propias condiciones de acceso e interconexión.

10.2 Interfaces y límites de responsabilidad

La interfaz debe quedar situada en un punto físico del recorrido. UIT-T G.977.1 utiliza puntos de referencia interoperables IPI-SM e IPI-RM alrededor de la unión de acoplamiento óptico, OCJ. El proyecto debe relacionar esos puntos con sus paneles, puertos y equipos reales. [86]

Para nuestro expediente distinguimos la entrega óptica, la alimentación del sistema y la integración de gestión. Cada una necesita responsable, información de diseño y criterio de aceptación. Una descripción que termina en el conector óptico deja pendientes las otras funciones si no se asignan expresamente.

Tabla 10.1. Interfaces y límites de responsabilidad

Interfaz del proyecto	Qué debe acordarse	Responsabilidad que debe quedar asignada
Planta y SLTE	Puntos de referencia, banda, niveles y condiciones del modo.	Caracterizar la planta e integrar y aceptar los terminales.
Usuario de espectro	Frecuencias, potencia, acceso y cambios permitidos.	Controlar la asignación y coordinar la convivencia.
Alimentación	Configuraciones y escenarios admitidos por el sistema.	Operar el PFE y validar el presupuesto eléctrico.

Interfaz del proyecto	Qué debe acordarse	Responsabilidad que debe quedar asignada
Gestión y supervisión	Identificadores, datos, alarmas y permisos.	Integrar información y coordinar intervenciones.
Entrega al cliente	Ubicación, capacidad, protección y fecha.	Aceptar y sostener el servicio contratado.

El integrador debe conservar la relación entre esas entregas. Si cambia el proveedor del SLTE, deben revisarse las interfaces afectadas, la supervisión, el soporte y las condiciones de prueba. La asignación contractual debe permitir resolver una degradación sin depender de que el cliente identifique previamente qué suministrador la causó.

10.3 Caracterizar la planta y validar los terminales

La capacidad debe estimarse a partir del recorrido real y de la tecnología terminal elegida. La caracterización de la planta debe conservar las condiciones de carga y las métricas definidas. Al evaluar un nuevo módem aplicamos sus requisitos y penalizaciones, manteniendo la distinción entre calidad de la línea y desempeño del conjunto.

El manual de Ciena sobre ingeniería de cables abiertos utiliza GSNR y ESNR para relacionar la planta con diferentes tecnologías de módem. También explica por qué deben identificarse las contribuciones del terminal y de la propagación. El capítulo 9 desarrolló las precauciones necesarias al comparar esos indicadores. [82]

Nuestro expediente debe vincular mediciones, modelo de capacidad y configuración que se propone aceptar. Una extrapolación debe indicar su método y sus supuestos; un resultado de prueba debe indicar extremos, canal y duración. La cifra presentada al cliente debe distinguir la predicción de diseño de una prestación ya validada.

La validación debe cubrir el segmento contratado. Un enlace con ramificaciones o extensiones terrestres puede tener recorridos diferentes según el destino. La capacidad comprobada entre dos estaciones no acredita automáticamente otro recorrido que atraviese más elementos o termine en un PoP interior.

10.4 Espectro y convivencia entre usuarios

El espectro puede asignarse como una banda dentro de un par de fibras. La asignación debe indicar sus límites de frecuencia y las condiciones de uso. La rejilla flexible de UIT-T G.694.1 define una granularidad de frecuencia central de 6,25 GHz y una granularidad de ancho de ranura de 12,5 GHz. El equipo puede admitir un subconjunto de las posiciones y anchos definidos. [87]

Una banda de 600 GHz podría alojar aritméticamente ocho ranuras de 75 GHz si todo ese ancho estuviera disponible para ellas. El cálculo $\frac{600}{75} = 8$ solo cuenta espacio. Para convertirlo en capacidad necesitamos comprobar los bordes utilizables, las bandas de guarda aplicables, el filtrado y los modos aceptados. Ocho ranuras no representan una tasa fija de datos.

El manual de Ciena sobre spectrum sharing describe funciones de control de frecuencia, potencia agregada y densidad espectral de potencia, además de la entrega del espectro asignado a cada usuario.

La convivencia requiere conservar esos límites durante altas, bajas y fallas. La potencia total permitida no sustituye el control de su distribución espectral. [88]

El inventario debe relacionar cada asignación con sus extremos, responsable y derechos de utilización. Debe indicar si la ampliación necesita espectro contiguo y qué condiciones rigen los cambios. Un bloque sin tráfico puede estar reservado o comprometido; debe revisarse su estado antes de incorporarlo a una nueva oferta.

La carga óptica también puede incluir señales que no transportan tráfico de cliente. Nokia explica el uso de ASE para ocupar espectro inactivo y mantener las condiciones de operación de determinadas cadenas amplificadas submarinas. La documentación debe separar carga óptica, canales de datos activos y capacidad vendible. [89]

10.5 SDM y canales espaciales

La multiplexación espacial, SDM, utiliza varios caminos espaciales para transmitir en paralelo. En sistemas submarinos puede materializarse mediante más fibras y pares dentro del cable. Cada camino puede combinarse con WDM. La arquitectura determina cuánta capacidad puede aprovecharse y cómo se reparten los recursos del sistema. [89]



Figura 10.2. Diferencia conceptual entre varios canales WDM en un camino y su repetición sobre varios caminos espaciales. Los colores representan frecuencias reutilizadas en caminos distintos. La cantidad dibujada es ilustrativa y no fija una multiplicación garantizada de capacidad. Elaboración propia.

Dunant ofrece un ejemplo histórico de esta evolución. En febrero de 2021, SubCom y Google anunciaron su puesta en servicio con una arquitectura SDM de doce pares y una capacidad anunciada de 250 Tb/s. El comunicado describe el uso compartido de bombeo óptico entre pares y repetidores optimizados en potencia. Esas cifras corresponden a aquel anuncio y a su arquitectura. [90]

SDM también incluye desarrollos con fibras multinúcleo. NTT publicó en diciembre de 2024 un experimento terrestre con fibra de doce núcleos acoplados y procesamiento MIMO para recuperar señales. Ese resultado de investigación debe distinguirse de las características y la aceptación de un sistema submarino concreto. La palabra SDM, por sí sola, no identifica qué tipo de fibra está instalado. [91]

En un cable existente, actualizar los terminales no aumenta la cantidad física de fibras ya tendidas. Puede aprovechar recursos existentes o mejorar su rendimiento dentro del diseño validado.

Incorporar nuevos caminos físicos requiere otra actuación de infraestructura. El plan de crecimiento debe distinguir ambas posibilidades.

10.6 Presupuesto energético de la capacidad

La alimentación de la planta sumergida condiciona el diseño. El presupuesto debe relacionar las características del PFE, el conductor, la longitud, los equipos sumergidos y las configuraciones autorizadas. Aumentar caminos espaciales obliga a resolver cómo se alimentarán y qué prestaciones se conservarán en los escenarios de operación previstos.

Domingues y sus coautores estudiaron límites de capacidad de enlaces SDM bajo restricciones de alimentación y no linealidad. Su resumen muestra que, en las condiciones analizadas, la alimentación adquiere mayor peso al aumentar distancia y canales espaciales. Es un resultado de modelado que ayuda a justificar el análisis conjunto de óptica y energía. [92]

El consumo de los terminales en la estación debe distinguirse de la alimentación enviada al cable. Una ampliación de SLTE necesita energía, climatización y espacio en tierra. Eso no determina por sí mismo cuánto margen eléctrico conserva la planta sumergida. Ambas comprobaciones deben acompañar la ampliación.

También debe documentarse el escenario de alimentación degradada. En el anuncio de Firmina de junio de 2021, Google explicó que su diseño permitiría operar desde una única fuente en un extremo si las otras quedaban temporalmente indisponibles. Esa capacidad fue una condición explícita del proyecto. En otro sistema debemos verificar su configuración y prestaciones garantizadas. [93]

El expediente debe indicar qué canales y servicios pueden mantenerse en cada configuración admitida. Una declaración de redundancia eléctrica necesita ese alcance, junto con los resultados de aceptación correspondientes. Las maniobras pertenecen a los procedimientos autorizados del sistema.

10.7 Los cinco estados de capacidad

Para este libro utilizamos cinco estados con las siguientes definiciones de trabajo. Otros proveedores pueden emplear los mismos términos con alcances distintos; al comparar propuestas debemos acordar primero la definición, el recorrido y el sentido de transmisión.

Tabla 10.2. Los cinco estados de capacidad

Estado	Definición de trabajo	Evidencia que lo respalda
De diseño	Capacidad objetivo bajo la arquitectura, modos e hipótesis definidos.	Diseño y presupuesto con límites y horizonte.
Instalada	Capacidad habilitable con los terminales y recursos ya instalados.	Inventario, licencias y verificación de compatibilidad.
Iluminada	Capacidad de canales activos, integrados y aceptados.	Configuración y resultados de puesta en servicio.
Comercializable	Capacidad apta para entrega comercial tras reservas y restricciones, antes de descontar contratos vigentes.	Disponibilidad técnica y asignación comercial conciliadas.

Estado	Definición de trabajo	Evidencia que lo respalda
Contratada	Capacidad comprometida mediante contratos y sus condiciones de entrega y protección.	Contratos, recursos asignados y fechas.

La capacidad comercializable libre para nuevos compromisos se obtiene después de descontar los contratos que utilizan esa entrega, sin duplicar reservas. Capacidad iluminada y tráfico observado son magnitudes diferentes: un canal activo puede transportar poco tráfico y seguir comprometido con un cliente. El uso instantáneo no libera automáticamente su capacidad contractual.

En una fotografía de servicio ya entregable, con igual alcance y unidades, podremos reconciliar capacidad instalada, iluminada, comercializable y comprometida. Sin embargo, un contrato con entrega futura puede respaldarse en una ampliación pendiente. Debe identificarse como compromiso futuro, con sus dependencias y fecha, en lugar de sumarlo a la entrega disponible hoy.

El sentido de transmisión debe declararse. En una arquitectura con un par de fibras, una por sentido, 10 Tb/s por sentido describen una prestación bidireccional simétrica. Sumar ambos sentidos produce 20 Tb/s agregados, pero no duplica la capacidad disponible en un sentido. Las comparaciones deben mantener la misma convención.

10.8 Planificar y aceptar una ampliación

Una ampliación puede activar recursos ya equipados, instalar terminales adicionales, cambiar el modo o renovar la tecnología de transmisión. El proyecto debe identificar qué recurso limita el siguiente incremento. La secuencia puede depender de espectro, margen, interfaces de cliente, licencias, espacio o soporte en las estaciones.

UIT-T G Suplemento 41 trata la evolución de capacidad mediante recopilación de datos, evaluación del margen y alternativas de actualización. También contempla que un cambio de tasa pueda requerir revisar filtros y otros elementos del terminal. La ampliación debe analizarse sobre el sistema existente y sus condiciones documentadas. [74]

Para cada etapa preparamos un estado previo, una configuración objetivo y un plan de aceptación. El estado previo debe permitir volver a la configuración anterior cuando corresponda. La aceptación comprobará la capacidad nueva y el efecto sobre los canales que permanecen en servicio, con condiciones y límites acordados.

La integración de gestión debe acompañar al cambio. SubOptic publicó en mayo de 2025 la presentación de la segunda edición de sus recomendaciones sobre una interfaz común de gestión de planta sumergida. El manual de Ciena describe modelos de datos y API para inventarios, alarmas, eventos y elementos gestionados. La implementación concreta y sus permisos deben verificarse en el proyecto. [94, 95]

Una fecha comercial debe incluir adquisición, instalación, integración y pruebas, además de las coordinaciones con terceros. La nueva capacidad pasa al inventario entregable cuando cumple las condiciones definidas. Un anuncio de ensayo, una compra de equipos y una entrega aceptada representan hitos diferentes.

10.9 Capacidad durante contingencias

La capacidad protegida debe comprobarse para una falla definida. Puede tratarse de pérdida de un terminal, un recurso de alimentación, una estación, un tramo terrestre o un cable completo. Cada escenario deja disponibles recursos distintos y puede concentrar tráfico sobre una misma alternativa.

En cada ruta superviviente debemos descontar los compromisos que permanecen activos y las reservas aplicables. Después comprobamos cuánto tráfico adicional puede recibir el recorrido completo. El cálculo debe incluir puertos y equipos, además de capacidad óptica y derechos de utilización.

Una reserva situada en otros pares del mismo cable comparte la exposición a un corte de ese cable. Para proteger ese escenario necesitamos comprobar una alternativa que sobreviva a la falla. Del mismo modo, dos rutas marinas pueden depender de una misma entrada terrestre o de un equipo común en el data center.

Si varios servicios utilizan una reserva compartida, debemos evaluar los que se trasladarían simultáneamente en el escenario acordado. La documentación debe indicar prioridades, capacidad garantizada, posible degradación y tiempo de recuperación. Una reserva compartida necesita una política de asignación verificable.

La prueba debe observar el resultado en la entrega al cliente. Además de la recuperación del enlace, deben comprobarse capacidad, errores y desempeño del servicio en la condición degradada. La aceptación debe conservar qué falla se simuló, qué recursos sobrevivieron y qué tráfico se mantuvo.

10.10 Caso de capacidad física con protección insuficiente

Consideremos un sistema ficticio de dieciséis pares. Todas las cifras siguientes se expresan en Tb/s de capacidad útil por sentido y corresponden al mismo recorrido. Supondremos compatibilidad, espectro y presupuesto óptico validados para las configuraciones indicadas.

Tabla 10.3. Caso de capacidad física con protección insuficiente

Estado en el ejemplo	Cálculo o condición supuesta	Capacidad por sentido
De diseño	16 pares con 32 canales de 0,4 Tb/s por par.	204,8 Tb/s
Instalada	4 pares equipados para 20 canales de 0,4 Tb/s por par.	32,0 Tb/s
Iluminada	3 pares con 16 canales activos y aceptados de 0,4 Tb/s por par.	19,2 Tb/s
Comercializable	19,2 menos 4,8 reservados para necesidades operativas definidas.	14,4 Tb/s
Contratada	Compromisos vigentes sobre la entrega disponible.	12,0 Tb/s

La disponibilidad comercial ordinaria del caso es $14{,}4 - 12{,}0 = 2{,}4$ Tb/s. El potencial de diseño de 204,8 Tb/s necesitaría las ampliaciones correspondientes; no representa entrega inmediata. La reserva operativa de 4,8 Tb/s en el cable principal tampoco sobrevive a un corte completo de ese cable.

Supongamos ahora que 4,0 Tb/s de los contratos requieren recuperación ante ese corte. Existe una ruta alternativa independiente para el escenario, cuya capacidad efectiva hasta la entrega al cliente es 6,4 Tb/s. De ella, 3,2 Tb/s deben seguir atendiendo otros compromisos que no pueden desplazarse.

Tabla 10.4. Caso de capacidad física con protección insuficiente

Comprobación de la alternativa	Capacidad por sentido	Interpretación
Capacidad efectiva superviviente	6,4 Tb/s	Disponible en el recorrido completo de respaldo.
Compromisos que permanecen	3,2 Tb/s	Deben conservar su capacidad.
Capacidad para recibir el traslado	3,2 Tb/s	6,4 menos 3,2.
Tráfico protegido que se traslada	4,0 Tb/s	Compromiso de recuperación del caso.
Déficit del escenario	0,8 Tb/s	La alternativa no sostiene todo el compromiso.

La capacidad libre en operación normal no resuelve el déficit de protección. Debemos ampliar y aceptar la alternativa, asignar otros recursos supervivientes o revisar el alcance del compromiso antes de ofrecerlo. La decisión debe quedar reflejada en el inventario, el presupuesto del escenario y la aceptación del servicio.

El ejemplo conserva dos cuentas distintas: crecimiento ordinario y continuidad ante una falla. Una ampliación en el cable principal puede mejorar la primera mientras mantiene pendiente la segunda. El informe al cliente debe mostrar ambas para el recorrido que contratará.

10.11 Consecuencias para el data center

La evaluación del data center debe seguir la capacidad hasta su entrega en el campus. El sistema submarino puede tener recursos disponibles mientras el backhaul, un puerto o la cross connect hacia el cliente permanece pendiente. El inventario debe relacionar cada incremento internacional con las interfaces terrestres e internas que lo hacen utilizable.

Antes de respaldar una oferta debemos conocer el punto de entrega, la capacidad útil por sentido, el plazo de activación y las condiciones de protección. Si depende de una ampliación, deben identificarse sus hitos y responsables. La declaración de capacidad debe corresponder al servicio concreto que el carrier puede entregar.

Los plazos de crecimiento también influyen en la propuesta de valor del campus. Conviene registrar qué incrementos pueden habilitarse sobre recursos existentes y cuáles requieren nuevas instalaciones o recorridos. Esa información permite acordar un calendario de expansión con el cliente y comprobar sus dependencias.

El responsable de conectividad debe conservar una versión común entre ingeniería, operación y comercial. Los cambios de capacidad, reservas o rutas deben actualizarse en esas tres funciones. Así, la oferta comercial utiliza la configuración aceptada y la operación conoce los compromisos que debe sostener.

10.12 Preparar la ficha de evolución de capacidad

La ficha ampliará el registro de transmisión del capítulo 9. Debe permitir reconstruir de dónde procede cada cifra y qué intervención hace falta para pasar al siguiente estado.

1. Sistema, propietario u operador, recorrido, extremos y sentido de las cifras.
2. Pares o caminos espaciales existentes y recursos que pueden utilizarse.
3. Interfaces, asignaciones de espectro y límites de potencia y carga.
4. Terminales, modos, licencias, configuración aceptada y margen BoL y EoL.
5. Capacidad de diseño, instalada, iluminada, comercializable y contratada con fecha de referencia.
6. Reservas, compromisos futuros y ampliaciones necesarias para cada entrega.
7. Presupuesto de alimentación sumergida y soporte de los equipos en tierra.
8. Escenarios de contingencia, recursos supervivientes y capacidad simultáneamente garantizada.
9. Gestión, alarmas, responsabilidades, cambios y evidencias de aceptación.

Entrega del capítulo. Matriz de compatibilidad y capacidad por fase.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué parte del sistema es abierta y qué compatibilidad se ha validado entre planta y terminales?
2. ¿Las cifras de capacidad mantienen el mismo recorrido, unidad y sentido de transmisión?
3. ¿El espectro asignado admite los modos y las ampliaciones propuestos?
4. ¿Qué capacidad está equipada y aceptada, y cuál depende de una actuación futura?
5. ¿El presupuesto energético incluye la condición normal y los escenarios degradados acordados?
6. ¿La reserva sobrevive a la falla que pretende cubrir y alcanza para los traslados simultáneos?
7. ¿La capacidad internacional llega hasta la interfaz contratada en el data center?

Capítulo 11 Supervisión y pruebas submarinas

Al terminar este capítulo, el lector podrá Solicitar pruebas y supervisión adecuadas a la arquitectura submarina.

Términos esenciales. Supervisión = observación de estados; COTDR = técnica coherente de reflectometría.

La aceptación de una conexión submarina exige evidencias sobre la planta, los terminales y el servicio. Una alarma despejada o una traza sin cambios no describe por sí sola todos esos ámbitos. Debemos conocer qué se midió, desde dónde, bajo qué configuración y con qué criterio se declaró conforme.

Este capítulo organiza la puesta en servicio y la supervisión durante la operación. Explica el alcance de OTDR y COTDR, relaciona las mediciones ópticas con errores y márgenes, e incorpora las pruebas que un carrier debe respaldar en su entrega. Las maniobras y conexiones de instrumentos corresponden al personal autorizado y a los procedimientos específicos del sistema.

11.1 Separar los objetos de aceptación

Dividiremos el expediente en cuatro objetos: infraestructura pasiva accesible, transmisión activa, alimentación y supervisión, y servicio entregado. Cada objeto tiene extremos y resultados propios. El tramo terrestre entre la estación y el campus debe figurar cuando forma parte de la entrega, aunque pertenezca a otro proveedor.

UIT-T G.976 identifica métodos y etapas de pruebas para sistemas submarinos. Su utilidad comienza al definir el propósito del ensayo y el significado del resultado. En nuestro plan relacionamos cada ensayo con una condición de diseño, una intervención o un compromiso del servicio, evitando presentar una lista de instrumentos como evidencia suficiente. [50]

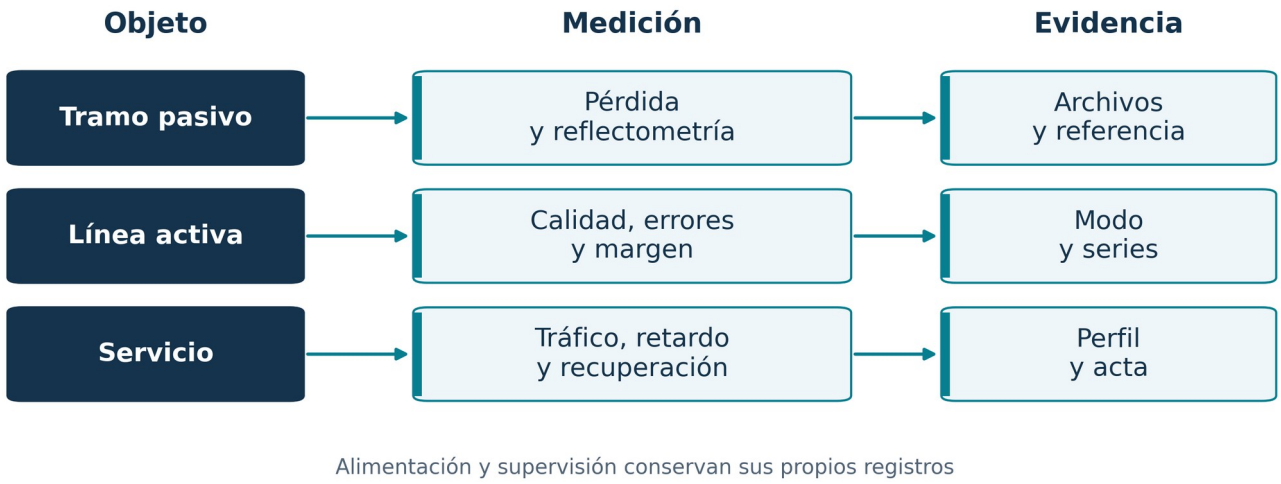


Figura 11.1. Relación entre objeto de aceptación, familia de medición y evidencia. Cada fila conserva su alcance; la conformidad del servicio requiere conciliar el recorrido completo. Elaboración propia.

Antes de la prueba debe existir una configuración de referencia. Incluimos terminales, versiones, canal, sentido, carga, puntos de conexión y estado de protección. Si se cambia alguno durante el ensayo, el registro debe permitir reconstruir qué condición produjo cada resultado. Una captura de pantalla sin esa relación pierde valor para una comparación posterior.

11.2 Preparar la puesta en servicio

El plan debe distinguir ensayos de fábrica, verificaciones durante instalación, aceptación de los tramos y pruebas del conjunto. El operador indicará qué resultados anteriores siguen siendo válidos y cuáles deben repetirse después de empalmes, reparaciones, cambios de terminal o configuración. La secuencia debe contemplar dependencias entre contratistas y disponibilidad de los extremos.

Cada prueba necesita responsable, acceso, instrumento, criterio y archivo de salida. Deben acordarse las ventanas, los servicios afectados y el estado al que se volverá al terminar. En un sistema compartido también debe quedar claro quién autoriza cambios sobre carga óptica, canales de supervisión y alimentación. La coordinación forma parte de la preparación técnica.

La revisión inicial comprobará limpieza e identidad en puntos accesibles, continuidad documental del recorrido y condiciones de los equipos de prueba. El certificado de calibración y la configuración deben corresponder al instrumento realmente utilizado. Para medidas que dependen de referencia, se conservará cómo se obtuvo y cuándo se modificó. La preparación debe permitir detectar un error de ensayo antes de atribuirlo al sistema.

11.3 Comprender el alcance del OTDR

El OTDR estima posición y características de eventos a partir del retorno óptico en el tiempo. El ancho de pulso y el promediado influyen en lo observable; las zonas muertas limitan la separación de eventos próximos a reflexiones. EXFO explica la relación entre resolución, alcance y condiciones de medición. Por eso, una sola configuración puede ser insuficiente para todos los eventos del tramo. [96]

El resultado debe identificar longitud de onda, índice de grupo o parámetro equivalente, rango, pulso, promediado y conexiones de lanzamiento y recepción cuando correspondan. Comparamos trazas obtenidas en condiciones compatibles. Una diferencia de distancia debida a ajustes del instrumento no debe interpretarse como cambio físico del cable.

El OTDR utilizado para un fronthaul pasivo conserva ese alcance. No debemos suponer que un instrumento de planta externa puede observar un sistema transoceánico completo a través de todos sus elementos activos. Los caminos de retorno, aisladores y puntos de acceso de la arquitectura condicionan la medida disponible. La selección del método debe aprobarse para el sistema instalado.

11.4 Distinguir COTDR y caminos de supervisión

G.976 describe el uso de detección coherente en COTDR para obtener mayor sensibilidad y selectividad. En sistemas amplificados contempla señales de interrogación y carga compatibles con el funcionamiento de los amplificadores. La diferencia respecto del OTDR convencional afecta al instrumento, la arquitectura y las condiciones de prueba. [50]

El alcance efectivo depende de los recursos de monitorización incorporados en el cable y de la configuración autorizada. Debemos solicitar al operador un esquema de los caminos observables y de sus puntos de referencia. La ausencia de una anomalía en un camino de supervisión no acredita automáticamente todos los recursos del sistema.

Para localizar una variación se contrastarán las trazas con la referencia y con el diagrama longitudinal actualizado. La distancia óptica debe relacionarse con longitud de fibra, reservas y geometría del tendido; no es una coordenada geográfica directa. El informe debe expresar incertidumbre y el tramo sospechoso antes de derivar una posición de intervención.

11.5 Medir transmisión activa y dispersión

En cada canal de transmisión interesa conocer potencia, calidad, errores y margen del modo. La OSNR debe acompañarse de ancho de referencia y método; para señales coherentes la estimación del ruido requiere una técnica compatible con la señal y el filtrado. EXFO explica por qué interpolar entre canales no resulta válido en todas las arquitecturas. [81]

Los indicadores del DSP deben conservar definición y procedencia. La guía de Cisco para ópticas coherentes presenta potencia, OSNR, dispersión, DGD y contadores antes y después de FEC. La comparación debe utilizar el mismo modo y una ventana definida; un valor estimado por el módem no se convertirá sin justificación en una medición independiente de la planta. [83]

La dispersión cromática acumulada se compara con el límite del receptor para el modo seleccionado. En PMD debemos separar coeficiente estadístico, valor del enlace y DGD observado. UIT-T G.978 remite a métodos y tratamiento de fibras, incluido G.650.2. El plan indicará qué caracterización está disponible, qué datos son telemetría y qué incertidumbre acompaña la conclusión. [79]

Las tendencias pueden anticipar degradación aun cuando el servicio continúe sin errores después de FEC. Conviene revisar intervalos, máximos, eventos de pérdida de sincronismo y bloques no corregibles. El acta debe registrar los límites y la reserva aceptada, además del estado final de las alarmas. Los valores universales sin referencia de equipo o modo deben sustituirse por criterios aplicables al sistema.

La reflectometría y la medida de pérdida de inserción responden a preguntas distintas. En los tramos pasivos accesibles, el plan debe definir cómo se comprueba la pérdida entre extremos y cómo se localizan los eventos. El informe debe conservar la referencia utilizada para cada magnitud. Una suma de eventos de una traza no se presentará como si fuera cualquier otra medida de pérdida sin verificar su método y alcance.

Para CD y PMD se solicitará el procedimiento de caracterización aplicable, sus longitudes de onda o banda y el tratamiento de resultados. La existencia de datos del receptor no elimina esa definición. En un sistema activo donde el cliente no tiene acceso directo, el carrier debe especificar qué evidencia puede entregar y de qué tramo procede. La aceptación acordará expresamente si se utiliza una caracterización anterior, una medición nueva o una estimación validada.

La validez de los contadores debe comprobarse junto con el estado del enlace. Un cero acompañado de pérdida de señal, falta de sincronismo o contador no disponible requiere interpretación; no acredita una ventana de transmisión sin errores. También se registrarán reinicios y periodos sin datos. La prueba debe contabilizar el tiempo realmente observado con el sistema en la condición exigida.

11.6 Probar alimentación y supervisión

La aceptación eléctrica corresponde al circuito y a las configuraciones previstas por el diseño. Sus resultados deben relacionarse con la identidad del cable, el estado de los extremos y los procedimientos aprobados. En este libro conservamos los registros exigidos por el sistema sin convertirlos en instrucciones genéricas para operar un PFE.

UIT-T G.979 describe arquitecturas de monitorización con equipos y controladores de mantenimiento. Debemos comprobar la cadena desde el elemento observado hasta el centro que recibe la información. La aceptación incluirá correspondencia de identificadores, actualización de datos y detección de eventos desde los puntos previstos. [60]

Una prueba de alarma debe acreditar el estímulo autorizado, su detección, marca temporal, severidad y llegada al operador. También debe observarse su recuperación y si quedó algún estado retenido. Las marcas temporales requieren una referencia conocida para correlacionar terminales, gestión y pruebas del servicio. Una alarma inexistente en pantalla puede reflejar filtrado o pérdida de comunicación, no necesariamente ausencia de falla.

11.7 Aceptar el servicio que entrega el carrier

El carrier debe identificar los puntos exactos de entrega y la capa que contrata el cliente. Un canal óptico, un servicio Ethernet y un acceso IP tienen prestaciones y métodos de prueba diferentes. La evidencia de planta debe complementarse con la aceptación del servicio sobre el recorrido comprometido y sus escenarios de protección.

Tabla 11.1. Aceptar el servicio que entrega el carrier

Ámbito de entrega	Comprobaciones a acordar	Condiciones que deben registrarse
Óptico o de transporte	Capacidad útil, errores, interfaces y margen.	Modo, canal, extremos y ventana.
Ethernet	Perfil de tráfico, pérdida, retardo y variación.	Tamaño de trama, clases, carga y tasas.
IP y aplicación	Transferencia útil y comportamiento extremo a extremo.	RTT, ventanas, hosts, protocolos y carga.
Contingencia	Recuperación y desempeño con recursos supervivientes.	Falla simulada, capacidad simultánea y restricciones.

Y.1564 proporciona una metodología de activación de servicios Ethernet. El proyecto debe seleccionar perfiles y criterios acordes con la entrega. RFC 2544 se orienta al benchmarking de dispositivos; RFC 6815 advierte sobre su aplicación en redes de producción. El nombre de una prueba debe acompañarse de su alcance y de condiciones autorizadas, especialmente si puede interferir con tráfico existente. [97, 98]

El throughput de Ethernet y el goodput de TCP no son intercambiables. Para TCP debemos conservar RTT, configuración de extremos y duración; RFC 6349 ofrece un marco de ensayo específico. En medidas de un sentido debe controlarse la relación temporal entre extremos. Los percentiles p50, p95 y p99 necesitan población, ventana y criterio de cálculo; no pueden inferirse de un promedio. [8]

El perfil de tráfico debe representar la prestación que se está aceptando. Indicaremos las tasas ofrecidas, las clases de servicio, los tamaños de trama y la combinación simultánea de flujos. Si una interfaz permite 100 Gb/s y el contrato garantiza una tasa distinta, la comparación debe hacerse contra ese compromiso y su método. También deben aclararse las sobrecargas incluidas en la tasa que informa el instrumento.

Para latencia distinguimos un sentido y recorrido de ida y vuelta. Una medida RTT contiene ambos sentidos y puede utilizar caminos diferentes; dividirla por dos no produce automáticamente una medida válida de un sentido. La variación del retardo de paquetes debe definirse con su método y referencia. El jitter de reloj de una interfaz es otra magnitud y necesita una prueba distinta.

Al solicitar percentiles pedimos las observaciones o un archivo que permita revisar su cálculo, además del resumen. Deben conservarse frecuencia de muestreo, reloj, intervalos excluidos y separación entre operación normal y contingencia. Una ventana breve con carga baja no demuestra el comportamiento durante la concentración de tráfico de una falla. Si el compromiso exige un horizonte mayor, la observación debe representar ese horizonte o quedar explícitamente limitada.

11.8 Conservar resultados originales y decidir la aceptación

La entrega debe reunir archivos nativos, informes legibles y una relación entre ambos. Un informe resumido facilita la revisión, mientras los originales permiten volver sobre una anomalía. Conservamos versión, fecha, responsable, configuración y estado de conformidad. Las series temporales deben indicar intervalos sin dato y reinicios de contadores.

Los resultados se revisarán por sentido y por canal antes de agregarse. Una media favorable no compensa un canal fuera de criterio si ese canal forma parte de la entrega. Los pendientes deben tener responsable, impacto, condición temporal de operación y criterio de cierre. La aceptación condicionada debe distinguirse de una entrega plenamente conforme.

Tabla 11.2. Conservar resultados originales y decidir la aceptación

Registro mínimo	Contenido	Decisión que permite
Configuración	Recorrido, modo, carga y puntos de referencia.	Saber qué se aceptó.
Originales	Trazas, series, contadores y archivos de tráfico.	Revisar o reproducir el análisis.
Criterios	Límites, método y ventana contractual.	Determinar conformidad.
Cambios y pendientes	Intervenciones, efecto y cierre.	Conservar la vigencia de la aceptación.

11.9 Caso de una conexión con pruebas de alcance incompleto

En un caso ficticio, el carrier entrega trazas OTDR del tramo terrestre y una captura del terminal sin alarmas. El servicio internacional de 100 Gb/s todavía no tiene una prueba entre los puertos que recibirá el cliente. Los archivos son útiles, pero no cubren todo el compromiso anunciado.

La revisión sitúa cada evidencia sobre el diagrama. Las trazas corresponden al fronthaul y al acceso terrestre; la captura identifica un canal activo, aunque omite carga y ventana de errores. El equipo de aceptación solicita resultados del sistema submarino y define la prueba del servicio con sus extremos, perfil y criterios. No se sustituye la documentación válida: se completa el alcance que falta.

La prueba detecta una configuración de tasa distinta en un equipo intermedio. Después de corregirla se repite el ensayo afectado y se verifica la recuperación en el escenario acordado. El acta relaciona los archivos anteriores con los nuevos y conserva la configuración finalmente entregada. La lección consiste en aceptar el recorrido por evidencias compatibles, sin atribuir a una prueba más alcance del que tiene.

11.10 Preparar el expediente de pruebas submarinas

1. Diagrama del sistema y puntos de referencia de cada ensayo.
2. Plan de pruebas por etapa y objeto de aceptación.
3. Autorizaciones, ventanas y responsables de los extremos.
4. Instrumentos, referencias, ajustes y versiones.
5. Archivos OTDR o COTDR con su camino observable y configuración.
6. Potencia, calidad, dispersión, errores y márgenes por canal y sentido.
7. Resultados de alimentación, supervisión y correlación de alarmas.
8. Pruebas del servicio y de contingencia con criterios acordados.
9. Acta de entrega, pendientes y reglas para conservar la vigencia del expediente.

Entrega del capítulo. Solicitud de evidencia por objeto y método autorizado.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué parte del recorrido observa realmente cada prueba?
2. ¿El método y el instrumento son compatibles con la arquitectura?
3. ¿Se conservan carga, modo, sentido, referencia y ventana?
4. ¿La evidencia distingue telemetría, caracterización de planta y servicio?
5. ¿La contingencia fue probada hasta la entrega del cliente?
6. ¿Puede reconstruirse la configuración aceptada a partir de los originales?

Capítulo 12 Mantenimiento y reparación submarina

Al terminar este capítulo, el lector podrá Separar recuperación del servicio reparación y nueva contingencia.

Términos esenciales. Reparación = restitución física; reserva = recurso conservado para una función.

Una falla submarina obliga a gestionar dos trabajos relacionados: sostener los servicios y reparar la infraestructura. El tráfico puede recuperarse por una alternativa antes de que el cable vuelva a su condición aceptada. Esa diferencia debe conservarse en la operación, en las comunicaciones al cliente y en el cierre del incidente.

El mantenimiento comienza antes de la falla. Requiere referencias de prueba, inventario, repuestos, acuerdos de asistencia y conocimiento del recorrido. Este capítulo organiza esas capacidades y sigue la intervención desde la detección hasta la aceptación posterior, sin sustituir los procedimientos técnicos y marinos de quienes ejecutan el trabajo.

12.1 Preparar la capacidad de mantenimiento

El propietario u operador debe identificar qué organización autoriza la reparación, quién opera las estaciones y qué proveedor puede movilizar recursos marinos. El acuerdo debe corresponder al cable y a su zona de cobertura. La existencia de un contrato general no acredita que cualquier recurso, repuesto o fecha de atención esté incluido.

KIS-ORCA describe la movilización de un buque a partir de un acuerdo de mantenimiento y de la notificación de una autoridad de mantenimiento. La información inicial incluye posición estimada de falla, permisos, cartas y datos del cable. Ese conjunto muestra por qué la preparación documental precede a la operación marina. [99]

El plan del sistema debe conservar contactos operativos, escalamiento, criterios de activación y alternativas de comunicación. Debe poder utilizarse cuando una estación o una red habitual de gestión esté indisponible. Un ejercicio de escritorio permite comprobar que responsables y documentos pueden localizarse sin depender de una sola persona.

12.2 Reconocer la falla y preservar evidencias

La detección puede originarse en pérdida de señal, aumento de errores, cambios de potencia, alarmas eléctricas o degradación observada por el cliente. La primera tarea consiste en delimitar alcance y tiempo. Deben correlacionarse los extremos antes de atribuir el problema al mar; también pueden fallar terminales, energía, fronthaul o transporte terrestre.

La línea base del capítulo 11 permite comparar trazas y configuración. Preservaremos alarmas, series, cambios recientes y estado de los servicios antes de reiniciar equipos o borrar contadores. La operación debe registrar qué acciones alteraron la observación. La necesidad de recuperar tráfico puede justificar un cambio, pero ese cambio debe quedar en la cronología.

Se distinguirá el hecho observado de la hipótesis causal. Por ejemplo, pérdida de continuidad y distancia estimada a una anomalía son observaciones técnicas; atribuirla a un ancla necesita evidencia adicional. El expediente puede avanzar con una localización provisional y actualizarse cuando exista información de campo. Las comunicaciones externas conservarán esa distinción.

12.3 Recuperar servicio mientras continúa la reparación

El centro de operación debe comprobar qué tráfico pudo trasladarse y qué restricciones conserva. La recuperación puede cambiar ruta, capacidad, latencia y acceso a destinos. El estado recuperado debe evaluarse contra la prestación comprometida, incluyendo los servicios que comparten la alternativa. La desaparición de una alarma en el canal de respaldo no demuestra la capacidad de todos los clientes.

Durante la operación degradada debe mantenerse una cuenta de reservas. Si la alternativa ocupa el recurso previsto para otra falla, el sistema conserva menos capacidad de recuperación. Las nuevas activaciones, mantenimientos y cambios deben considerar ese estado. El registro de riesgo operacional debe indicar qué eventos adicionales ya no puede absorber la red.

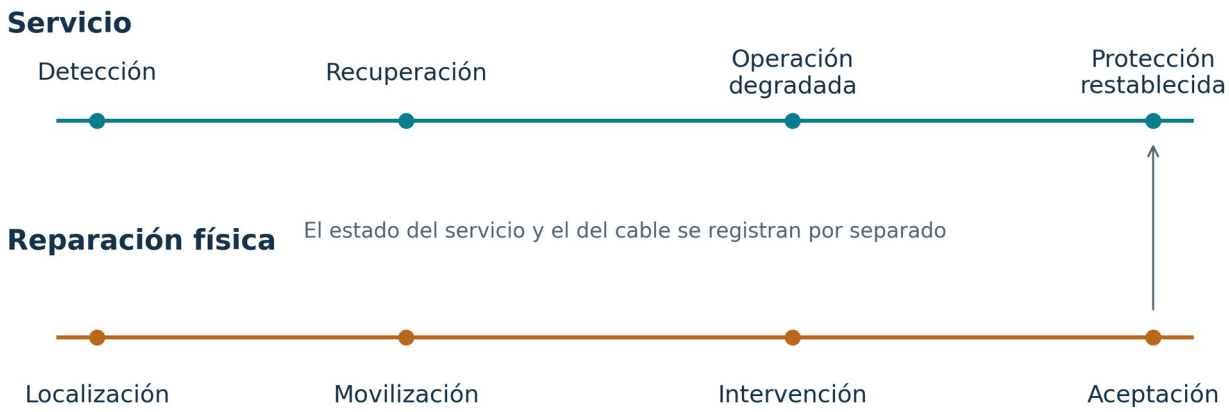


Figura 12.1. Secuencias de recuperación del servicio y reparación física. Los hitos ilustran dependencias y no representan duraciones garantizadas. Recuperar tráfico no cierra por sí solo la reparación. Elaboración propia.

Las comunicaciones al cliente deben identificar servicio disponible, impacto remanente y siguiente hito conocido. Las fechas deben indicar su grado de confirmación y dependencia de movilización, acceso y condiciones de trabajo. La información puede ser incompleta al principio; una actualización con alcance claro es más útil que presentar una estimación como plazo garantizado.

12.4 Localizar el tramo y preparar la intervención

La localización combina resultados desde las estaciones, registros del tendido y observaciones disponibles. La distancia óptica debe trasladarse al recorrido con las reservas y cambios históricos del cable. Los segmentos añadidos en reparaciones anteriores también deben figurar. La posición inicial orienta el trabajo y necesita refinarse según el procedimiento aplicable.

UIT-T G.976 distingue pruebas para localizar fallas y ensayos durante y después de reparar la planta sumergida. La selección depende del tipo de sistema y del acceso disponible. Debemos acordar qué resultado se espera en cada etapa, qué parte del recorrido cubre y cómo se comparará con la referencia anterior. [50]

El paquete de intervención debe incluir identificación inequívoca del sistema, trazado actualizado, características del cable, uniones, repuestos y recursos próximos que deben protegerse. También debe resolver coordinación entre estaciones y personal marino. Las condiciones de seguridad y el estado de alimentación pertenecen al procedimiento aprobado para la intervención.

12.5 Movilización permisos y recursos marinos

La posibilidad de zarpar no equivale a la posibilidad de completar la reparación. Deben verificarse disponibilidad de buque y personal, carga de repuestos, acceso al área y condiciones marinas. Las autorizaciones aplicables dependen del lugar y del alcance de la operación. La coordinación necesita una organización responsable de confirmar esas condiciones.

Global Marine describe servicios de mantenimiento que combinan buques, ROV y apoyo de depósito. ACMA ofrece un ejemplo de acuerdo que define cobertura y servicios, incluido almacenamiento de repuestos, con límites explícitos respecto de las uniones de playa. Son ejemplos de cómo el contrato debe delimitar recursos e interfaces. [100, 101]

Los repuestos deben corresponder a las características y compatibilidades del sistema. La existencia física de cable en un depósito no demuestra que pueda emplearse en cualquier tramo. El inventario debe conservar tipo, longitud, estado, documentación y restricciones de uso. Después de consumirlo debe planificarse la reposición para conservar la capacidad de atender otra falla.

12.6 Reparación y control de la configuración

La operación marina identifica y recupera el tramo afectado, retira el material que corresponda, incorpora el repuesto y ejecuta las uniones y pruebas previstas. KIS-ORCA explica que la intervención incluye comprobaciones antes de devolver el cable al fondo y, cuando procede, recuperación de su protección. El trabajo debe dirigirlo personal y recursos especializados. [99]

Para el expediente de conectividad interesa saber qué cambió. Registramos fibras, longitud, uniones, material incorporado y geometría resultante. Si se modifica un equipo sumergido, también se conservará su identidad y configuración. La documentación de la reparación debe integrarse con el inventario del operador y con el presupuesto óptico y eléctrico afectado.

El cierre del trabajo de un contratista no debe confundirse con la aceptación del sistema. Una unión físicamente terminada todavía necesita las comprobaciones correspondientes. La coordinación debe indicar quién recibe los resultados de cada etapa y quién declara que la configuración puede volver a transportar los servicios previstos.

12.7 Aceptar el sistema después de reparar

La comparación debe utilizar referencias y ajustes compatibles. Las diferencias esperadas por longitud o uniones nuevas se incorporarán al modelo; las diferencias no explicadas se investigarán. El objetivo es demostrar el comportamiento de la configuración reparada y la reserva que conserva para su horizonte de operación.

El presupuesto debe actualizarse cuando la reparación consuma margen. UIT-T G Suplemento 41 considera provisiones relacionadas con reparaciones y envejecimiento. La capacidad previa no debe darse por vigente sin revisar el efecto de los cambios. Una actualización de terminales tampoco compensa automáticamente cualquier modificación de la planta. [74]

Tabla 12.1. Aceptar el sistema después de reparar

Objeto	Comprobación posterior	Resultado que debe conservarse
Planta intervenida	Continuidad, identidad y pruebas aplicables a cable y uniones.	Resultados y configuración de la reparación.
Transmisión	Canales, errores, calidad y margen de los modos aceptados.	Comparación con referencia y presupuesto actualizado.
Alimentación y supervisión	Condiciones autorizadas, observación y alarmas.	Registros de extremos y centro de operación.
Servicio	Prestación y recuperación hasta los puntos de entrega.	Acta por servicio y restricciones remanentes.

La devolución de tráfico requiere un plan. Deben comprobarse dependencias, ventana y posibilidad de mantener la alternativa mientras se valida el retorno. Una migración apresurada puede producir una segunda afectación aun cuando el cable esté reparado. El acta debe identificar la hora de recuperación del servicio y la hora de retorno a la condición de operación normal.

12.8 Actualizar trazados y prevenir recurrencias

El registro final debe integrar planos, posiciones, pruebas, cambios de capacidad y consumo de repuestos. La lista pública de recomendaciones del ICPC identifica la importancia de los registros de carga y tendido y de los formatos de listas de posiciones de ruta. La utilidad de esos registros se extiende a la siguiente localización e intervención. [69]

El análisis causal debe distinguir el daño identificado de factores que ampliaron el impacto. Un incidente puede mostrar una concentración de rutas, un acceso pendiente o una reserva insuficiente aunque esa condición no haya causado la rotura. El plan de mejora debe asignar responsables y comprobar el resultado de las medidas adoptadas.

También deben revisarse los datos comerciales. Si la reparación modifica margen, capacidad o protección disponible, esas condiciones deben actualizarse antes de nuevas ventas. El informe de operación debe mostrar cuándo se repuso la reserva y qué restricciones continúan. El cierre administrativo de un ticket no sustituye esa reconciliación.

12.9 Ciclo de vida y retiro de activos

El retiro del servicio debe planificarse como una transición de infraestructura y compromisos. Primero se identificarán clientes, dependencias de gestión y rutas alternativas. El proyecto debe definir qué componentes se retirarán, cuáles permanecerán y qué obligaciones de registro, acceso o recuperación resultan aplicables a la ubicación y al activo.

La decisión sobre recuperación física necesita considerar seguridad, ambiente, interfaces con otros sistemas y condiciones del fondo. El expediente conservará la base de la decisión y las autorizaciones correspondientes. Deben actualizarse inventarios y documentación de navegación o protección por los canales establecidos. Declarar un cable fuera de servicio no elimina de inmediato sus interacciones con el entorno.

Los equipos en tierra, alimentación, contratos, licencias y datos históricos requieren cierre coordinado. Debe existir una referencia duradera que permita reconocer la antigua infraestructura ante una futura obra. La documentación de retiro completa la trazabilidad que comenzó en la construcción y evita que un recurso abandonado siga figurando como alternativa disponible.

12.10 Caso de servicio recuperado con exposición remanente

En un caso ficticio, una falla obliga a trasladar tráfico internacional a una segunda ruta. Los servicios vuelven a funcionar y el cliente recibe el aviso de recuperación. El buque todavía no ha intervenido el cable; además, la alternativa está ocupando la capacidad prevista para otra contingencia.

El equipo mantiene dos estados: servicio recuperado con protección reducida e infraestructura pendiente de reparación. Se difiere un mantenimiento que dejaría sin recurso superviviente a varios clientes y se reservan puertos para una ampliación temporal. La decisión se basa en el escenario completo y conserva su responsable y vigencia.

Después de reparar se aceptan los canales, se actualiza el margen y se devuelve tráfico mediante una ventana acordada. El cierre se produce cuando se verifican el servicio y la reserva restaurada. El expediente conserva las horas de cada hito y los cambios ejecutados. El caso muestra por qué continuidad, reparación y recuperación de protección necesitan comprobarse por separado.

12.11 Preparar la ficha de mantenimiento y reparación

1. Acuerdo de mantenimiento, cobertura, interfaces y autoridad de activación.
2. Contactos, escalamiento y comunicaciones alternativas.
3. Referencias de prueba, inventario y trazado actualizado.
4. Repuestos, compatibilidad, estado y reposición.
5. Cronología de falla, observaciones e hipótesis verificadas.
6. Estado de servicios y reservas durante la contingencia.
7. Intervención, material, posiciones y configuración resultante.
8. Aceptación posterior, actualización de márgenes y devolución de tráfico.
9. Análisis causal, acciones de mejora y cierre de restricciones.

Entrega del capítulo. Cronología de restauración y plan de cierre de reparación.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué alcance tiene el acuerdo de mantenimiento del sistema?
2. ¿Se conoce el estado del servicio mientras continúa la reparación?
3. ¿La posición estimada utiliza el trazado y las reparaciones actualizadas?
4. ¿Qué cambios consumieron margen o repuestos?
5. ¿La aceptación posterior cubre planta, terminales y entrega al cliente?
6. ¿Se ha recuperado la reserva necesaria para la siguiente contingencia?

Capítulo 13 Sensado y aplicaciones emergentes

Al terminar este capítulo, el lector podrá Delimitar lo que una observación de fibra permite inferir del entorno.

Términos esenciales. Sensado = obtención de información de una magnitud; resolución = separación observable.

La infraestructura óptica también puede aportar observaciones del entorno. Las perturbaciones que modifican la propagación de la luz permiten estudiar fenómenos mecánicos y oceanográficos con técnicas específicas. Esa posibilidad amplía el valor de algunos recorridos, pero requiere explicar qué se observa, con qué resolución y bajo qué condiciones convive la medida con las telecomunicaciones.

Este capítulo distingue mediciones de polarización, interferometría, sensado acústico distribuido y sensores incorporados al sistema. Utilizamos investigaciones sobre cables reales, incluido el enlace entre Los Ángeles y Valparaíso. Separamos los resultados científicos de una prestación operacional que tenga disponibilidad, validación y responsabilidades acordadas.

13.1 Definir la observación antes de elegir la tecnología

La primera pregunta es qué fenómeno se quiere medir y qué decisión utilizará el resultado. Una serie óptica puede contener respuesta a perturbaciones del recorrido sin proporcionar directamente una magnitud geofísica calibrada. El proyecto debe definir observable, unidad, resolución espacial, banda temporal, latencia de procesamiento e incertidumbre.

También debe conocerse la geometría de observación. Algunas técnicas producen un resultado integrado sobre un recorrido, otras diferencian segmentos y otras incorporan puntos de medida. Una gran longitud observada no equivale a una localización precisa del fenómeno. La ficha debe indicar cuál de esas geometrías aplica a la configuración utilizada.

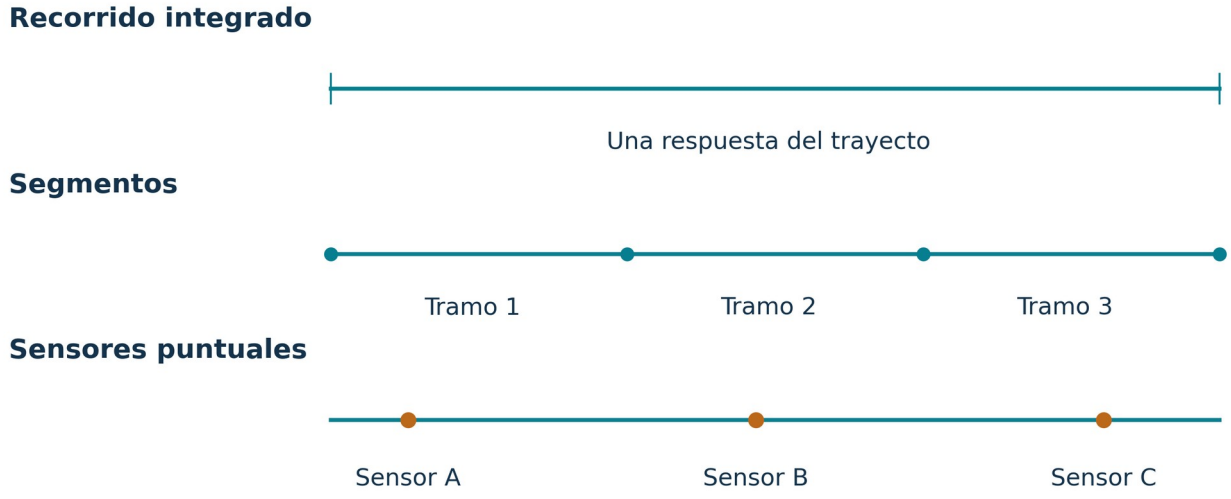


Figura 13.1. Tres geometrías de observación que deben distinguirse: respuesta integrada del recorrido, estimaciones por segmentos y sensores físicos en ubicaciones definidas. El dibujo no fija resolución ni tecnología de implementación. Elaboración propia.

La aptitud del cable necesita relacionarse con su trazado y con el acoplamiento al entorno. El tipo de instalación y las condiciones de apoyo o protección influyen en la respuesta. Para un piloto debemos

identificar qué parte de esas condiciones se conoce y qué parte se validará mediante datos externos. La interpretación debe conservar esas limitaciones.

13.2 El caso del enlace entre Los Ángeles y Valparaíso

Zhan y sus coautores publicaron en Science en 2021 un estudio de observación de ondas sísmicas y oceánicas mediante polarización en un cable transoceánico entre Los Ángeles y Valparaíso. El trabajo utilizó canales ópticos de telecomunicaciones y mostró el potencial de aprovechar infraestructura existente para observación geofísica. Su DOI es 10.1126/science.abe6648. [102]

El valor del caso para nuestro libro está en la relación entre transmisión y observación. La señal óptica conserva información sobre perturbaciones del recorrido que puede analizarse con un propósito científico. Ese uso necesita acceso a las variables adecuadas y un tratamiento distinto del que acepta un servicio de datos. Una alarma de transmisión y una detección ambiental no representan la misma salida.

El resultado del estudio no convierte por sí solo cualquier cable o transceptor en una estación científica equivalente. Para trasladar el método debemos revisar el acceso a datos, su muestreo, la arquitectura y la validación. Tampoco debe presentarse la detección de ondas como predicción de terremotos. Las capacidades demostradas deben describirse con el alcance de la investigación.

13.3 Polarización y posibilidad de distinguir segmentos

El estado de polarización puede variar por perturbaciones que afectan al recorrido. El procesamiento debe distinguir la respuesta ambiental de cambios de configuración, maniobras y comportamiento del equipo. Los registros operacionales del cable son útiles para identificar periodos en que una modificación técnica puede alterar la serie observada.

Costa y sus coautores demostraron una técnica de localización por segmentos mediante mediciones de polarización sobre un cable amplificado. Su trabajo estudió un terremoto ocurrido en México y utilizó recursos de retorno incorporados en la arquitectura observada. Es una evolución metodológica cuya aplicación debe comprobarse para el sistema disponible; no supone que todas las mediciones de polarización tengan resolución por tramo. [103]

El diseño del piloto debe especificar cómo se relaciona la señal con un segmento y qué incertidumbre conserva. Las estimaciones deben compararse con referencias independientes y con la geometría actualizada del cable. Una posición calculada a partir de un modelo necesita conservar su versión y las condiciones de validez.

13.4 Interferometría y sensado acústico distribuido

Marra y sus coautores publicaron en 2022 observaciones de terremotos y señales oceánicas en segmentos entre repetidores de un cable transatlántico. El trabajo empleó interferometría para superar la limitación de una medida integrada sobre todo el recorrido. El resumen público identifica la arquitectura y el alcance de esa demostración. Su DOI es 10.1126/science.abo1939. [104]

El sensado acústico distribuido, DAS, utiliza otra configuración de interrogación y procesamiento de la fibra. Sladen y sus coautores presentaron mediciones sobre un cable de telecomunicaciones de 41,5 km frente a Toulon, con observación de sismicidad e interacciones entre océano y fondo. Es una demostración específica que permite entender el interés de obtener múltiples observaciones a lo largo de un tramo accesible. [105]

DAS, interferometría por segmentos y COTDR de mantenimiento deben identificarse por su función y método. Compartir elementos ópticos o detección coherente no hace equivalentes sus resultados. La localización de una pérdida del cable, la estimación de deformación y la observación de una onda necesitan criterios de interpretación distintos.

El alcance de un interrogador sobre una fibra pasiva tampoco acredita su funcionamiento a través de cualquier cadena de repetidores. El proyecto debe comprobar accesos, retorno óptico, coexistencia y recursos disponibles. La selección de tecnología partirá de la arquitectura real y de la observación requerida, además de la distancia anunciada por un instrumento.

13.5 Sensores incorporados y sistemas SMART

Los sistemas SMART incorporan sensores científicos al sistema de telecomunicaciones. UIT-T G.9730.2 describe funciones para cables con sensores como temperatura, presión y aceleración en ubicaciones previstas. Esta arquitectura debe distinguirse de inferir una perturbación a partir de la señal transmitida por una fibra existente. [106]

UIT-T G.9730.1 trata sistemas submarinos dedicados al sensado científico. La distinción permite separar una infraestructura construida para observación de otra que comparte telecomunicaciones y medidas ambientales. En ambos casos el proyecto debe identificar interfaces, alimentación, transmisión de datos y mantenimiento de los recursos científicos. [107]

Tabla 13.1. Sensores incorporados y sistemas SMART

Familia de medida	Resultado que debe definirse	Condición que debe verificarse
Polarización	Variación óptica e interpretación del recorrido o segmento.	Datos accesibles y modelo de localización.
Interferometría	Respuesta de fase y alcance espacial del método.	Estabilidad y recursos de interrogación.
DAS	Observaciones distribuidas sobre la fibra accesible.	Acoplamiento, resolución y alcance real.
Sensores SMART	Magnitudes físicas en ubicaciones identificadas.	Calibración, energía, datos y mantenimiento.

El programa debe conservar el inventario científico junto al de telecomunicaciones. Cada sensor o recurso de interrogación necesita identidad, posición o segmento asociado y versión de configuración. La sustitución de un terminal puede alterar el acceso a variables sin modificar el servicio contratado de datos. Esa dependencia debe contemplarse antes de migrar equipos.

13.6 Diseñar la coexistencia con el servicio

El piloto debe identificar fibras, canales o datos de telemetría que utilizará. Si incorpora señales de interrogación, el operador debe validar su compatibilidad con el sistema y con el tráfico. El acceso a un dato del equipo tampoco implica autorización para modificar la transmisión. La responsabilidad de operación debe quedar situada en la organización que controla el recurso.

Se acordarán ventanas, límites y criterios para suspender la prueba si afecta a la prestación. El estado previo debe poder reconstruirse y el resultado debe comprobar que el servicio conservó las

condiciones requeridas. La evaluación incluirá el comportamiento durante cambios o reinicios, además de la situación estable del piloto.

La relación con clientes necesita claridad. Si la actividad científica utiliza infraestructura que sostiene servicios comerciales, deben respetarse los acuerdos de acceso y utilización de datos aplicables. El expediente debe distinguir información técnica del cable, datos de observación y contenidos del cliente. El sensado ambiental no requiere presentar acceso al contenido de las comunicaciones como parte de su propuesta de valor.

13.7 Calidad temporal espacial y científica de los datos

La calidad de los datos debe acompañar a la serie. Registramos reloj, frecuencia de muestreo, intervalos sin medida, saturaciones, cambios de ganancia o procesamiento y periodos de mantenimiento. Una serie continua en una pantalla puede contener interpolaciones o datos repetidos; el formato de entrega debe permitir identificarlos.

Las marcas temporales deben relacionarse con una referencia y una incertidumbre. Para comparar un evento con otras estaciones necesitamos saber cuándo ocurrió la observación, qué retardo añadió la cadena y si el reloj cambió. La latencia de entrega debe distinguirse de la fecha de adquisición. El sistema debe conservar ambas.

La validación comparará detecciones con referencias independientes y un conjunto de condiciones representativo. Deben medirse falsos positivos, eventos no detectados y situaciones sin dato. Un algoritmo ajustado sobre un conjunto de eventos necesita evaluarse sobre observaciones distintas. El expediente debe permitir reconocer qué resultados proceden de entrenamiento y cuáles de una evaluación posterior.

La resolución espacial y la incertidumbre de localización deben declararse para cada salida. Una medida distribuida puede tener separación entre canales diferente de su resolución efectiva. Una segmentación entre repetidores tampoco convierte cada punto del segmento en una estación independiente. La interpretación debe utilizar la respuesta real de la técnica.

13.8 De piloto científico a servicio operacional

Un piloto demuestra factibilidad bajo condiciones definidas. Un servicio operacional necesita continuidad de datos, soporte, control de versiones y responsabilidades de validación. El proyecto debe indicar quién interpreta una anomalía, quién puede comunicarla y qué decisión está autorizada a activar. Ese paso requiere acuerdos adicionales a la conexión técnica del instrumento.

Las aplicaciones de alerta pública exigen integración y validación con las instituciones responsables. Detectar una señal o un evento en una investigación no acredita por sí solo disponibilidad y desempeño para emitir alertas. La ficha debe describir el nivel de madurez de cada función y la evidencia que respalda su utilización.

También debe planificarse el mantenimiento del sistema científico. Cambios de cable, reparaciones o actualizaciones pueden modificar la línea base y exigir recalibración o revisión del modelo. El calendario de telecomunicaciones y el de investigación deben compartir la información necesaria para interpretar cambios sin confundirlos con fenómenos ambientales.

13.9 Papel del data center y del operador

El data center puede alojar recepción, procesamiento y conservación de observaciones cuando el proyecto lo requiera. Esa función necesita dimensionar interfaces, almacenamiento, cómputo y continuidad. Debe partir de volumen y plazos de conservación medidos, evitando equiparar la tasa óptica del enlace con la tasa de datos científicos que se entrega.

La organización puede separar adquisición, transporte, procesamiento y distribución mediante interfaces identificadas. Cada etapa debe conservar su estado y permitir reconocer dónde se produjo una interrupción. Un repositorio disponible no demuestra que el sensor esté midiendo; una conexión activa tampoco demuestra que el resultado haya sido validado.

El modelo de colaboración debe asignar propiedad y acceso a los datos, revisión científica, soporte y gestión de cambios. Los compromisos comerciales describirán únicamente prestaciones demostradas para el servicio que se ofrece. Una propuesta de investigación puede conservar objetivos ambiciosos mientras identifica qué capacidades todavía están por validar.

13.10 Caso de una señal ambiental confundida con un cambio técnico

En un caso ficticio, un piloto registra una variación óptica y el sistema de análisis la clasifica como evento ambiental. Al revisar la cronología, el operador identifica una intervención en el terminal durante la misma ventana. La clasificación inicial carecía de esa información de contexto.

El equipo conserva el dato y corrige su etiqueta, sin borrarlo del historial. Incorpora las ventanas de mantenimiento a la evaluación y repite el contraste con referencias independientes. La modificación del algoritmo se versiona y los resultados se comparan sobre un conjunto separado del que motivó el ajuste.

Después se acuerdan criterios de disponibilidad de la adquisición y reglas para informar una observación no validada. El piloto conserva valor científico porque sus limitaciones son reconstruibles. El caso muestra que la coordinación operacional y la calidad de metadatos forman parte de la capacidad de sensado, además del instrumento y el algoritmo.

13.11 Preparar la ficha de sensado

1. Objetivo científico o de servicio y decisión que utilizará el resultado.
2. Técnica, observable, unidad, banda temporal y geometría de observación.
3. Cable, segmentos, sensores, terminales y recursos de adquisición.
4. Condiciones de acceso y coexistencia con las telecomunicaciones.
5. Reloj, muestreo, incertidumbre, disponibilidad y latencia de datos.
6. Referencias de validación, algoritmos y versiones.
7. Datos originales, metadatos, cambios y periodos sin observación.
8. Responsables científicos y operacionales y límites de comunicación.
9. Madurez demostrada, compromisos del servicio y actividades pendientes.

Entrega del capítulo. Hipótesis con validación independiente y límites de inferencia.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La medida es integrada, por segmentos, distribuida o de sensores puntuales?
2. ¿Qué resultado está demostrado en esta arquitectura?
3. ¿Cómo se verifican tiempo, localización e incertidumbre?
4. ¿Se registran los cambios operacionales que pueden alterar la señal?
5. ¿La coexistencia fue aceptada por el operador?
6. ¿Se distingue un resultado de investigación de un servicio operacional validado?

Parte 3 Transporte terrestre y selección del emplazamiento

La salida del sistema submarino necesita transporte hasta el mercado y el campus. Esta parte examina rutas, nodos, riesgos compartidos, construcción y selección del emplazamiento.

Capítulo 14 Backhaul desde el aterrizaje hasta el campus

Al terminar este capítulo, el lector podrá Reconstruir la conexión terrestre entre estación y campus.

Términos esenciales. Backhaul = transporte entre nodos de acceso y agregación; PoP = punto de presencia.

La conexión internacional se vuelve utilizable para el data center cuando alcanza el punto de entrega previsto en el campus. Entre la estación de amarre y ese punto pueden intervenir redes, nodos y contratos distintos. El backhaul debe reconstruirse como un recorrido completo, con sus recursos físicos y su servicio de transporte.

En este capítulo seguimos esa continuación terrestre. Identificaremos puntos de presencia, modalidades de acceso, demarcaciones y dependencias de capacidad y calendario. El objetivo es convertir una propuesta de conexión al cable submarino en una entrega verificable hasta el data center.

14.1 Fijar los extremos del backhaul

Utilizamos backhaul para la conexión desde la estación de amarre hacia los nodos terrestres y el campus. Vela emplea esa distinción respecto del fronthaul entre playa y estación. En cada contrato deben constar los extremos exactos, porque la denominación comercial puede variar entre operadores y arquitecturas. [63]

El extremo inicial puede ser una interfaz de cliente del SLTE, un panel óptico o un punto de entrega de espectro. El extremo final puede estar en un PoP, una MMR o un puerto del cliente. Esos extremos delimitan lo que se compra y lo que falta integrar. La documentación debe indicar cuándo la oferta termina antes del campus.

La ficha incluirá identificadores físicos y lógicos. Para el punto físico registramos edificio, sala, rack, panel y puerto cuando estén disponibles. Para el servicio incluimos circuito, operador, capa y capacidad. Si todavía se está en prefactibilidad, se marcarán los datos previstos y la evidencia pendiente para confirmarlos.

14.2 Reconstruir nodos y tramos intermedios

Un punto de presencia, PoP, puede agregar tráfico, terminar sistemas de transporte o permitir interconexión. El plano debe mostrar qué función cumple en este recorrido. Un nodo dibujado como punto geográfico puede esconder una terminación, una regeneración o una transferencia contractual que influya en la entrega.

Dividiremos el recorrido por cambios de infraestructura, equipo o responsabilidad. Cada tramo conservará longitud, medio, extremos y proveedor efectivo. Cuando un carrier utiliza recursos de

terceros, la relación debe incorporarse al inventario con el detalle acordado y bajo las condiciones de confidencialidad aplicables. La falta de información debe quedar como incertidumbre identificada.

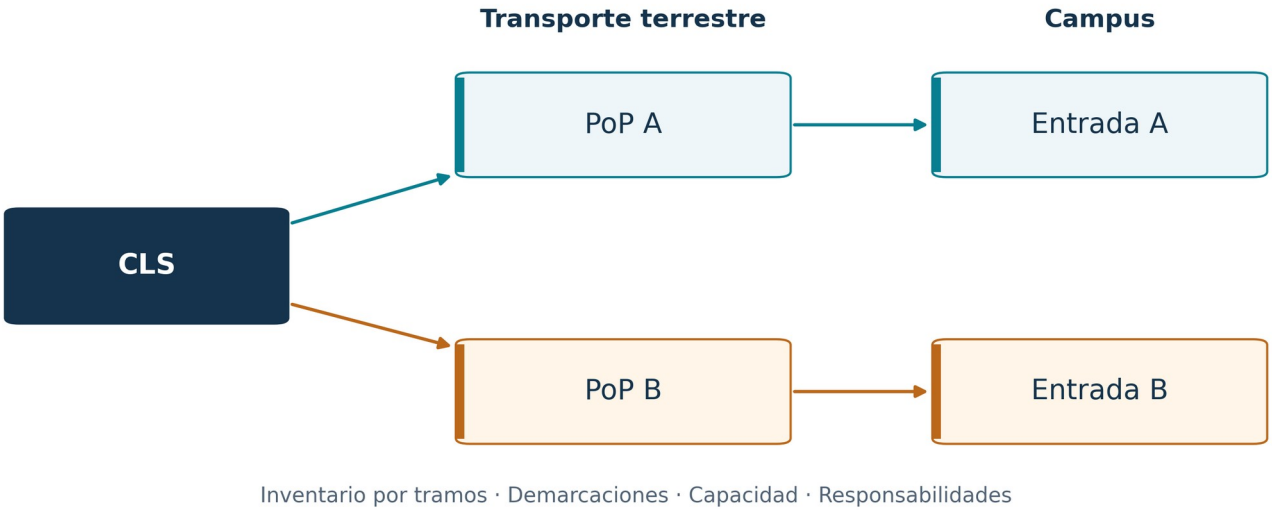


Figura 14.1. Dos continuaciones terrestres desde una CLS hacia el campus. El ejemplo distingue nodos intermedios y entradas; su separación en el dibujo no acredita diversidad física. Elaboración propia.

El recorrido previsto debe distinguirse del ejecutado. Un archivo de oferta puede describir una alternativa por construir, mientras el servicio inicial utiliza otra ruta. El expediente debe relacionar ambas con sus fechas y condiciones de transición. La aceptación se hará sobre la configuración realmente entregada.

14.3 Elegir el recurso o servicio que se contrata

Tabla 14.1. Elegir el recurso o servicio que se contrata

Modalidad	Control y alcance que deben precisarse	Comprobación de entrega
Fibra oscura	Fibras, extremos, acceso y responsabilidades del medio.	Continuidad, caracterización y disponibilidad del recorrido.
Espectro	Banda asignada, interfaces y condiciones ópticas.	Compatibilidad y capacidad de los terminales utilizados.
Canal de transporte	Capacidad útil e interfaces entre puntos definidos.	Errores, condiciones de protección y aceptación.
Ethernet	Perfil, clases, tasa comprometida y demarcaciones.	Desempeño bajo el perfil acordado.
Servicio IP	Destinos, capacidad y política de conectividad.	Alcance IP y desempeño hasta los extremos acordados.

La comparación debe conservar el mismo problema de entrega. Una oferta de fibra requiere terminales y operación que pueden estar incluidos en otra oferta de servicio gestionado. Debemos identificar las actividades y recursos que aporta cada parte antes de comparar plazos o condiciones comerciales. El control adicional también implica responsabilidades adicionales.

La disponibilidad del recurso debe acreditarse para la fecha requerida. Si la oferta utiliza una fibra o un puerto por liberar, necesita una dependencia de calendario. Si utiliza capacidad reservada, debe indicar bajo qué condiciones queda asignada. El inventario técnico y la confirmación comercial deben referirse al mismo recorrido y servicio.

14.4 Extensión óptica o transporte terminado en la estación

El SLTE puede terminar la señal submarina en la CLS o estar situado en un punto interior. Ciena describe la posibilidad de llevarlo hasta un data center cuando el presupuesto óptico admite la extensión. La ubicación cambia qué tramo pertenece al mismo dominio óptico y dónde comienza un sistema terrestre distinto. [65]

Si la señal se recibe y se vuelve a transmitir mediante otro sistema, cada dominio necesita sus límites y aceptación. Si continúa ópticamente hasta el terminal interior, el presupuesto debe incorporar toda la extensión y sus elementos. La misma línea sobre un mapa puede representar arquitecturas diferentes; el plano funcional debe aclararlo.

Los puntos de regeneración, amplificación y adaptación deben identificarse junto con la alimentación y el soporte que requieren. Un nodo intermedio activo añade dependencias de operación y mantenimiento. El plan de continuidad debe analizar qué ocurre si ese nodo queda indisponible, además de considerar cortes de fibra.

14.5 Relacionar recorrido y desempeño

La longitud de fibra contribuye al retardo de propagación, mientras terminales, adaptación y red de paquetes pueden añadir procesamiento y colas. Una estimación debe conservar su base y separarse de una medición. Para comparar rutas utilizamos los mismos puntos y condiciones, con indicación de un sentido o ida y vuelta.

Como ejemplo didáctico, 240 km de recorrido a una velocidad supuesta de 200 000 km/s representan 1,2 ms de propagación en un sentido. La cifra excluye procesamiento y otros tramos. Una diferencia de distancia entre dos rutas no permite por sí sola calcular el p99 del servicio, que requiere observaciones y un método acordado.

RFC 6349 relaciona pruebas de transferencia TCP con condiciones como RTT y configuración de los extremos. Para nuestra entrega conservamos también tráfico, duración y carga. Un resultado de aplicación puede estar condicionado por los hosts de ensayo, aunque el transporte cumpla su tasa comprometida. La revisión debe mantener la separación entre capas. [8]

14.6 Capacidad y protección a lo largo del recorrido

La capacidad entregable queda limitada por el recorrido completo. Debemos revisar cada interfaz, servicio intermedio y reserva. Dos puertos de 100 Gb/s no demuestran que todos los segmentos entre ellos puedan sostener esa capacidad útil. El compromiso debe incluir el comportamiento de los recursos compartidos y las restricciones del servicio.

La protección debe describir qué falla cubre y qué elementos permanecen comunes. Una alternativa puede evitar un tramo de fibra y seguir dependiendo del mismo PoP o del mismo equipo. El capítulo 16 profundizará en SRLG y evidencia física. Aquí conservamos las dependencias necesarias para saber qué capacidad llega al campus durante el escenario acordado.

También se revisará la concentración de tráfico. Una ruta de respaldo puede tener capacidad nominal suficiente antes de considerar otros servicios que se trasladan simultáneamente. El cálculo debe utilizar compromisos y prioridades vigentes. La recuperación del canal necesita acompañarse de pruebas del servicio sobre los recursos supervivientes.

14.7 Asignar responsabilidades entre organizaciones

La entrega puede involucrar propietario de fibra, operador óptico, proveedor de servicios y operador del data center. La matriz debe indicar quién construye, entrega, mantiene y autoriza cambios en cada interfaz. El cliente necesita un mecanismo de coordinación que permita abrir y resolver incidentes sobre el recorrido contratado.

Tabla 14.2. Asignar responsabilidades entre organizaciones

Interfaz	Dato que debe conciliarse	Responsable por definir
CLS a transporte terrestre	Panel o puerto, servicio y configuración.	Integración de la salida de estación.
Entre redes o proveedores	Demarcación, identificación y aceptación.	Coordinación y resolución de incidencias.
Acceso al campus	Recorrido, entrada y capacidad.	Conservación del acceso y mantenimiento.
Entrega en MMR o al cliente	Paneles, puertos y orden de conexión.	Instalación, pruebas y administración del circuito.

La asignación no termina al aceptar el servicio. Debe establecer quién informa cambios de ruta, quién actualiza registros y quién verifica que se conserva la condición ofrecida. Un cambio transparente para IP puede modificar la exposición física o el desempeño del recorrido. La gestión debe contemplar esa posibilidad.

14.8 Preparar la información para los carriers

La solicitud debe indicar destinos, capacidad inicial y escalonada, interfaces, fecha y escenarios de continuidad. También debe precisar el punto dentro del campus al que se atribuye la entrega. Una petición que solo menciona el nombre del cable submarino deja sin definir cómo llega el servicio al cliente.

Solicitaremos estado de disponibilidad de rutas, nodos, puertos y recursos de terceros. Los hitos pendientes deben distinguir ingeniería, accesos, obra, instalación e integración. El carrier debe indicar qué puede entregar sobre recursos existentes y qué requiere desarrollo adicional. Las respuestas deben conservar fecha y evidencia que permita actualizar su vigencia.

La comparación se organizará por alcance entregable, desempeño, protección y dependencia de ampliaciones. Los importes, cuando se evalúen, deben cubrir actividades equivalentes y el periodo considerado. En este capítulo no asignamos precios universales: el trabajo consiste en hacer comparables los recursos y responsabilidades que sostendrán el servicio.

14.9 Aceptar el backhaul hasta el punto contratado

El plan de aceptación debe relacionar resultados de cada tramo con la prueba extremo a extremo. Una verificación aislada de la salida de la CLS no cubre una entrega en MMR. De igual manera, un cross connect interno terminado no acredita la continuidad del transporte internacional que lo alimenta.

Se comprobarán identificación, capacidad, desempeño y recuperación del servicio, junto con los documentos del recorrido acordados. Los originales deben relacionarse con la configuración y la fecha. Si existe un tramo provisional, el acta debe identificarlo y establecer cómo se validará su sustitución.

Y.1564 ofrece una metodología de activación de servicios Ethernet que puede formar parte del plan según la entrega. La selección de ensayos debe corresponder al servicio y a las condiciones de operación. La aceptación final debe conservar los puntos de demarcación y las responsabilidades, además de los resultados. [97]

14.10 Caso de interfaces rápidas con un tramo intermedio limitado

En un caso ficticio se ofrecen puertos de 100 Gb/s en la CLS y en el campus. La revisión encuentra que el servicio contratado entre dos PoP intermedios tiene una capacidad útil comprometida de 40 Gb/s. Supondremos que los demás tramos admiten 100 Gb/s útiles bajo las condiciones del caso.

El recorrido no puede prometer 100 Gb/s útiles sostenidos mientras conserve esa restricción. Debe ampliarse el servicio intermedio o describirse correctamente la entrega de 40 Gb/s sobre interfaces de mayor velocidad. El análisis distingue capacidad del puerto de capacidad comprometida a lo largo del camino.

Después se revisa la alternativa de respaldo con el mismo criterio y se actualizan propuesta, inventario y plan de aceptación. La cifra comercial queda respaldada por el recorrido completo. El caso muestra por qué el responsable del campus necesita conocer las interfaces entre proveedores, incluso cuando un carrier vende la solución integrada.

14.11 Preparar la ficha de backhaul

1. CLS, PoP, campus y puntos exactos de entrega.
2. Tramos, recorridos y estado previsto o ejecutado.
3. Funciones ópticas y de transporte en cada nodo.
4. Recursos propios y de terceros con sus responsabilidades.
5. Capacidad útil por sentido e interfaces.
6. Desempeño previsto y medido y condiciones de prueba.
7. Escenarios de continuidad y capacidad superviviente.
8. Disponibilidad, hitos, cambios y dependencias de activación.
9. Evidencias de aceptación y reglas de actualización.

Entrega del capítulo. Cadena de tramos equipos y demarcaciones del transporte.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La oferta termina en la CLS, en un PoP o dentro del campus?
2. ¿Qué nodos y proveedores intervienen realmente?
3. ¿La señal continúa ópticamente o cambia de dominio?
4. ¿Qué tramo limita la capacidad del recorrido?
5. ¿La alternativa sostiene los compromisos simultáneos?
6. ¿La aceptación alcanza los puertos que recibe el cliente?

Capítulo 15 Redes metropolitanas y de larga distancia

Al terminar este capítulo, el lector podrá Comparar arquitectura metro y larga distancia para una demanda.

Términos esenciales. Regeneración = restitución de señal por terminales; protección = mecanismo ante una falla.

El data center participa en redes que transportan información dentro de una ciudad, entre regiones y hacia otros países. La longitud importa, pero también la función de cada nodo, la tecnología de transporte y el servicio que recibe el cliente. Una red extensa puede ofrecer destinos limitados; una red metropolitana puede abrir acceso a numerosos operadores y plataformas.

Este capítulo organiza esas redes por capas y dominios. Seguimos un servicio desde su interfaz de entrega hasta los recursos que lo sostienen, incluidos equipos y redes de terceros. La meta es poder explicar qué destinos alcanza, con qué capacidad y bajo qué condiciones permanece disponible.

15.1 Distinguir función, alcance y propiedad

Una red metropolitana suele concentrar accesos y conectar nodos dentro de un ámbito urbano. Una red de larga distancia enlaza mercados o regiones. No fijamos una frontera universal en kilómetros: el diseño depende de distancias reales, dispersión de nodos, capacidad y operación. Las etiquetas metro, regional y backbone deben acompañarse de un mapa y de funciones concretas.

El alcance comercial tampoco equivale a una red física íntegramente propia. Un operador puede llegar a una localidad mediante fibra arrendada, capacidad de transporte o un acuerdo de acceso. Para el campus interesa saber dónde se produce esa extensión, quién la mantiene y qué condiciones conserva la entrega. La respuesta debe quedar asociada a la oferta, sin asumir que el logotipo identifica al dueño de cada tramo.

Tabla 15.1. Distinguir función, alcance y propiedad

Dominio	Función que puede cumplir	Pregunta de proyecto
Acceso	Llevar un cliente o campus a un nodo.	¿Qué ruta y demarcación llegan al edificio?
Metropolitano	Agregar accesos y conectar PoP de una ciudad.	¿Qué nodos y servicios se alcanzan localmente?
Regional o nacional	Enlazar mercados y concentraciones de tráfico.	¿Dónde cambia la ruta, la capacidad o la operación?
Internacional	Conectar con otros países y sistemas.	¿Qué salida física y relaciones de servicio se utilizan?

15.2 Reconstruir las capas del transporte

Un servicio IP puede circular sobre Ethernet, sobre una adaptación de transporte y sobre canales ópticos que comparten una fibra. No todas las redes incluyen la misma secuencia. Algunas separan equipos ópticos y routers; otras integran la transmisión coherente en el router. La representación debe mostrar la arquitectura realmente instalada.

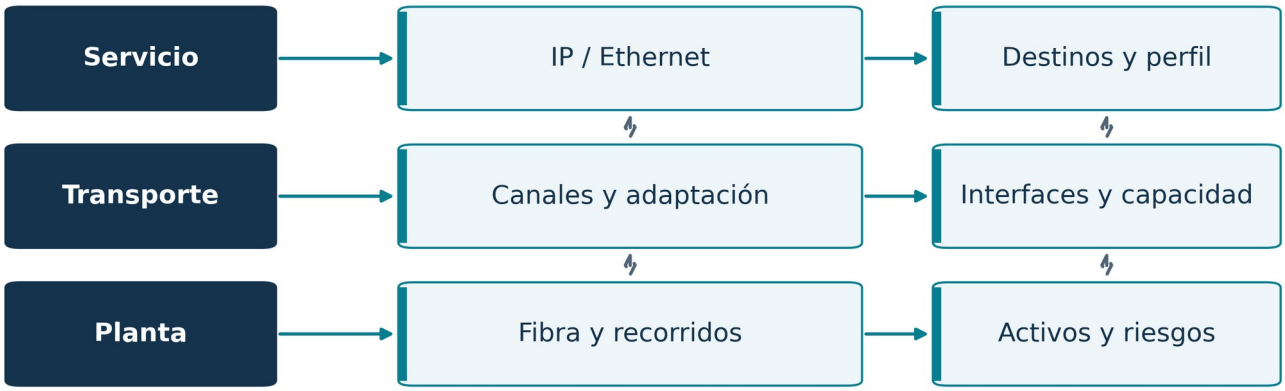


Figura 15.1. Relación entre servicio, equipos y recursos físicos. Cada capa debe enlazarse con el inventario inferior; el esquema no impone una arquitectura única. Elaboración propia.

Mantendremos una relación entre identificadores: servicio, interfaz, circuito de transporte, canal y tramo físico. Un mismo recurso inferior puede sostener varios servicios superiores. Sin esa relación, una alarma de fibra y varias alarmas IP parecen incidentes independientes, aunque provengan de un único corte.

La arquitectura integrada exige la misma trazabilidad. Cisco describe redes que combinan routers y ópticas coherentes conectables con sistemas DWDM. Esa integración modifica las interfaces entre equipos y organizaciones, pero conserva la necesidad de comprobar compatibilidad óptica, margen y gestión del enlace. [108]

15.3 Entender qué hacen los equipos ópticos

Los terminales adaptan la señal cliente a la transmisión; los amplificadores actúan sobre potencia óptica; una regeneración recupera y vuelve a transmitir la señal en un nuevo dominio. Esas funciones no son intercambiables. El inventario debe identificar dónde termina el canal, dónde atraviesa un nodo y dónde necesita conversión o adaptación.

Un ROADM permite reconfigurar la inserción, extracción y encaminamiento de canales ópticos. Ciena explica que los canales pueden atravesar nodos intermedios sin terminarse allí. La posibilidad de cambiar un trayecto no acredita que cualquier alternativa tenga margen suficiente: hay que verificar la ruta óptica completa, sus filtros, amplificación y terminales. [109]

La longitud, las uniones, los conectores y los nodos atravesados influyen en el presupuesto. El plan debe conservar el modo de transmisión y el margen admitido, con los criterios del fabricante y del operador. Una ruta de restauración más larga puede necesitar otro modo o una regeneración adicional. Esa posibilidad debe resolverse antes de comprometer la capacidad recuperada.

15.4 Precisar la función de OTN

OTN ofrece estructuras de transporte para adaptar, multiplexar y supervisar señales cliente. La familia UIT-T G.709/Y.1331 define interfaces de la red de transporte óptico. Cuando se utiliza, el expediente debe señalar las adaptaciones y los puntos de terminación que corresponden al servicio. No debe atribuirse una estructura OTN específica a una red solo porque utiliza DWDM. [110]

Para el operador del campus resultan relevantes la interfaz cliente, la capacidad útil y la visibilidad de defectos. Un servicio puede atravesar varios segmentos de transporte gestionados por organizaciones diferentes. Debe aclararse quién recibe las alarmas y quién reúne las pruebas cuando la degradación aparece en una frontera entre dominios.

La capacidad comercial debe relacionarse con la adaptación utilizada. Las tasas de línea incluyen componentes que no constituyen carga útil del cliente. Tampoco puede sumarse sin más la capacidad de varios canales si el servicio necesita una única interfaz o tiene otra restricción. La ingeniería y la oferta deben expresar cantidades comparables.

15.5 Definir Ethernet como servicio

Las definiciones de Carrier Ethernet distinguen servicios punto a punto, multipunto y multipunto con raíz. Mplify, que mantiene los estándares MEF, presenta respectivamente E-Line, E-LAN y E-Tree. La topología del servicio no revela por sí sola la ruta de fibra ni la reserva de capacidad física. [111]

La ficha de entrega debe especificar interfaces de usuario, identificación de VLAN cuando corresponda, clases de servicio, capacidad comprometida, tratamiento del exceso y tamaño de trama admitido. También debe aclarar si se multiplexan servicios en el puerto y qué funciones de control pasan o se terminan. Una lista de puertos y velocidades deja estas condiciones abiertas.

Los límites de pérdida, retardo y variación necesitan puntos y condiciones de medición. Si la entrega atraviesa un socio de acceso, el compromiso debe conciliarse en esa frontera. El servicio compuesto requiere una responsabilidad de extremo a extremo, incluso cuando cada organización conserva sus propios mecanismos de supervisión.

15.6 Entender alcance y política en IP

BGP intercambia información de alcance entre sistemas autónomos y permite aplicar políticas de selección de rutas. RFC 4271 define ese protocolo. El camino elegido refleja políticas y atributos; no constituye una medida de distancia física ni una promesa de menor latencia. Un AS tampoco describe por sí solo todos los tramos físicos recorridos. [112]

Para el data center distinguimos tránsito IP, interconexión con otras redes y acceso a destinos privados. Una presencia de carrier no garantiza todas esas prestaciones ni asegura acceso directo a una nube determinada. Deben identificarse prefijos, regiones, puntos de interconexión y condiciones que forman parte de la oferta, según el servicio.

Traceroute puede ayudar a observar respuestas de la red, pero no sustituye un plano de planta. Los saltos pueden no responder y los caminos de ida y vuelta pueden diferir. Las mediciones se conservarán junto con su origen, destino y hora. Para acreditar separación física necesitaremos el análisis del capítulo 16.

15.7 Relacionar topología y recuperación

Un anillo tiene dos direcciones potenciales; una malla ofrece más combinaciones. Ninguna forma garantiza por sí sola continuidad frente a los riesgos del proyecto. Un anillo puede recorrer el mismo corredor en ambos sentidos y una malla puede depender de un único nodo de agregación. La evaluación debe superponer recursos físicos y capacidad disponible.

La recuperación puede ocurrir en la capa óptica, de transporte o de paquetes. RFC 4090 describe reparación local para túneles MPLS RSVP-TE mediante caminos de respaldo. Es un mecanismo concreto: su presencia no permite atribuir a cualquier servicio un tiempo universal de recuperación. La prestación debe comprobarse en la configuración y el escenario contratados. [113]

Cuando varias capas reaccionan, deben coordinarse temporizadores y políticas. Puede haber una interrupción breve, cambios de retardo, reordenamiento o una segunda transición cuando vuelve la ruta original. La aceptación debe observar el servicio durante toda la secuencia y conservar tiempos de detección, traslado, estabilización y retorno.

15.8 Comprobar capacidad durante la contingencia

La capacidad superviviente se calcula sobre el escenario simultáneo. Si varios clientes comparten la reserva, hay que considerar cuáles migran por la misma falla. Una reserva de 100 Gb/s no puede contarse varias veces como capacidad exclusiva para servicios que necesitarán utilizarla al mismo tiempo.

Tabla 15.2. Comprobar capacidad durante la contingencia

Condición	Revisión necesaria	Evidencia esperada
Operación normal	Carga, tasas comprometidas y reservas.	Modelo y medición sobre la configuración vigente.
Pérdida de tramo	Servicios afectados y camino alternativo.	Capacidad y alcance de la ruta superviviente.
Pérdida de nodo	Equipos, energía y servicios concentrados.	Alternativa que evite el nodo completo.
Retorno a operación	Secuencia, estabilidad y recuperación de reserva.	Registro del servicio y estado final.

La ingeniería debe incluir ampliaciones en curso. Una ruta alternativa puede ser suficiente para la fase inicial y quedar corta después de nuevas ventas. Cada alta que consume capacidad protegida necesita actualizar el modelo. La reserva deja de ser una cifra fija y pasa a formar parte del control de cambios y de la gestión comercial.

15.9 Comparar ofertas y aceptar el servicio

Una matriz de comparación debe conservar extremos, destinos, capacidad útil, protección, operación y calendario. También debe registrar terceros y cambios de dominio. Dos ofertas llamadas enlace de 100G pueden tener condiciones distintas de tasa comprometida, respaldo, demarcación o atención. La evaluación debe hacer visibles esas diferencias.

El plan de aceptación comprobará identificación, alcance, capacidad y desempeño, además de las fallas acordadas. La prueba debe llegar hasta los puntos entregados al cliente. Las medidas por tramos ayudan a diagnosticar; la suma de resultados aislados no sustituye la aceptación de la entrega integrada.

Cuando no se pueda ensayar una contingencia sobre producción, se acordará una validación alternativa con sus límites: registros históricos, pruebas en entorno controlado o demostración de

configuración y capacidad. La incertidumbre residual debe quedar identificada. Una evidencia indirecta necesita conservar ese carácter en el acta.

15.10 Caso de respaldo óptico con capacidad insuficiente

En un ejemplo ficticio, dos servicios de 80 Gb/s comprometidos utilizan caminos primarios diferentes y comparten un enlace alternativo de 100 Gb/s útiles. El diseño supone que solo uno migrará cada vez. El análisis físico encuentra que ambos primarios comparten una cámara que puede perderlos simultáneamente.

En ese escenario deben trasladarse 160 Gb/s sobre una alternativa de 100 Gb/s. Faltan 60 Gb/s para sostener ambos compromisos completos, bajo los supuestos del caso. La conmutación puede funcionar y el servicio incumplir capacidad. Debe ampliarse la reserva, separar los riesgos o contratar de forma explícita otra prestación de contingencia.

La corrección se valida en las capas afectadas y se incorpora al inventario. El caso conecta topología, recursos y contrato: el mecanismo de recuperación necesita una ruta que sobreviva y una capacidad que sostenga la carga prometida. Ambas condiciones deben mantenerse a medida que crece la red.

15.11 Preparar la ficha de red metropolitana y de larga distancia

1. Destinos, funciones de cada nodo y alcance geográfico.
2. Capas, equipos, interfaces y relaciones entre identificadores.
3. Tramos propios y de terceros con demarcaciones.
4. Capacidad útil, clases y límites del servicio.
5. Rutas normales, alternativas y riesgos considerados.
6. Dependencias de alimentación, gestión y soporte.
7. Pruebas, evidencias y criterios de recuperación.
8. Estado de ampliaciones y revisión tras cada cambio.

Entrega del capítulo. Diseño de transporte con capacidad normal y sobreviviente.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué significa metro o larga distancia en esta oferta concreta?
2. ¿Puede relacionarse el servicio con sus recursos ópticos y físicos?
3. ¿Qué destinos alcanza y mediante qué relaciones?
4. ¿Qué capa recupera el servicio y qué condiciones exige?
5. ¿La reserva soporta todos los servicios que migran juntos?
6. ¿La aceptación demuestra la entrega normal y la recuperada?

Capítulo 16 Diversidad física y riesgos compartidos

Al terminar este capítulo, el lector podrá Demostrar diversidad sobre recursos y amenazas concretas.

Términos esenciales. SRLG = grupo de enlaces expuestos a un riesgo común; ruta ejecutada = trazado construido.

Dos circuitos pueden tener números, operadores y contratos diferentes y quedar interrumpidos por una misma obra. La diversidad física consiste en analizar esa posibilidad sobre recursos y amenazas concretos. La evaluación debe seguir cada recorrido desde el origen hasta la entrega y conservar los puntos donde vuelve a concentrarse.

En este capítulo construimos un registro verificable de separación y dependencias. Incluimos ductos, cámaras, postes, puentes, estaciones, entradas al campus y zonas geográficas. El resultado será una condición demostrada para determinados escenarios, con fecha y evidencia que pueda actualizarse.

16.1 Distinguir dimensiones de independencia

La diversidad puede referirse a proveedor, contrato, tecnología, equipo, energía, edificio o recorrido. Esas dimensiones se complementan, pero no se sustituyen. Dos operadores pueden alquilar fibras del mismo cable. Dos cables pueden ocupar ductos distintos de un mismo puente. Dos entradas al campus pueden converger en una única cámara exterior.

El proyecto debe indicar qué pérdida quiere soportar: un equipo, un tramo, una estación, una obra civil o un fenómeno que afecta una zona. Después comprobará las alternativas contra esa pérdida. La expresión rutas diversas necesita esa definición para poder convertirse en un criterio de ingeniería y aceptación.

Tabla 16.1. Distinguir dimensiones de independencia

Diversidad declarada	Dependencia que podría conservar	Comprobación necesaria
Dos carriers	Misma infraestructura arrendada.	Propietario y recorrido efectivo de cada tramo.
Dos cables	Mismo ducto, cámara o soporte.	Ocupación y elementos comunes.
Dos corredores	Mismo puente, túnel o cruce.	Puntos de aproximación y concentración.
Dos estaciones	Misma zona expuesta o alimentación.	Amenazas y servicios compartidos.
Dos entradas	Convergencia exterior o interior.	Continuidad de separación hasta la entrega.

16.2 Utilizar SRLG con un alcance definido

RFC 4202 denomina Shared Risk Link Group, SRLG, a un conjunto de enlaces que comparte un recurso cuyo fallo puede afectar a todos. El documento utiliza como ejemplo fibras en un mismo conducto. Esa noción ayuda a asociar enlaces lógicos con una dependencia física común. [114]

Un enlace puede pertenecer a varios grupos: ducto, puente y corredor, por ejemplo. El registro debe identificar el recurso, los enlaces afectados y la evidencia. Para dependencias de salas, energía u

operación mantendremos además un registro más amplio de riesgos comunes, sin suponer que todos se publican como atributos SRLG del protocolo.

La numeración necesita un ámbito de administración. El identificador 17 de un proveedor puede significar algo diferente en otro dominio. RFC 8001 trata la recopilación de información SRLG mediante extensiones de señalización. Para una auditoría entre operadores debemos conciliar significados y alcance; recibir una lista de números sin su diccionario no demuestra separación. [115]

16.3 Relacionar plano, activo y servicio

El inventario físico debe distinguir corredor, ducto, cable, fibra y circuito. Cada nivel responde una pregunta diferente. Dos fibras distintas pueden ser parte del mismo cable; dos cables pueden compartir una cámara vulnerable. La consulta del servicio debe permitir llegar a esos elementos y volver desde el elemento hasta los clientes afectados.

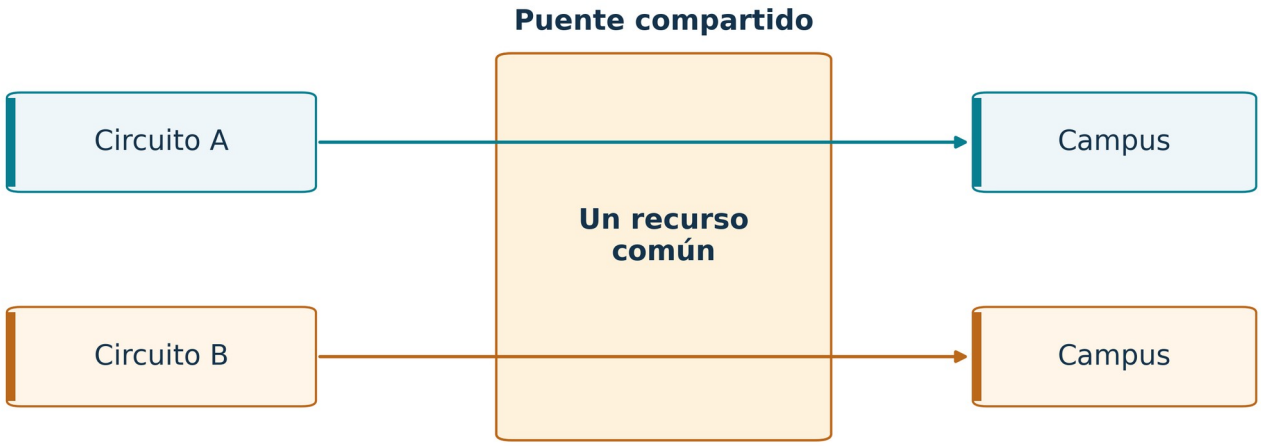


Figura 16.1. Dos circuitos de proveedores diferentes comparten un puente. La zona sombreada representa el riesgo común que invalida la separación frente a la pérdida de ese cruce. Elaboración propia.

Los planos conservarán sistema de coordenadas, escala, revisión, fecha y estado de la información. Deben diferenciar trazado de oferta, diseño aprobado y obra ejecutada. En los puntos críticos se añadirán secciones, fotografías y referencias de activos. Un dibujo esquemático puede orientar la revisión, pero no acredita por sí solo ubicación y separación.

Las reservas y empalmes también cuentan. Un cable puede desviarse para formar una reserva o entrar en una cámara que no aparece en una línea simplificada. La auditoría debe seguir esas aproximaciones y comprobar cómo se protege cada elemento. La longitud total del cable no permite reconstruir esas dependencias.

16.4 Buscar puntos de concentración

La revisión comenzará por lugares donde las alternativas tienen pocas posibilidades de paso: puentes, túneles, cruces ferroviarios, quebradas, ríos y accesos a estaciones. También se estudiarán postes comunes, galerías y cámaras que reciben varios operadores. El análisis necesita entender cómo una obra, incendio, inundación o pérdida estructural afectaría esos recursos.

Se revisarán los extremos con el mismo rigor que el recorrido intermedio. Dos rutas geográficamente separadas pueden terminar en una única sala o depender del mismo panel. El campus debe prolongar

la separación cuando el objetivo de continuidad lo exija, mediante entradas, recorridos y dominios internos coherentes.

No utilizamos una distancia universal como prueba suficiente. La separación requerida depende de la amenaza y de sus consecuencias. Una obra localizada y una inundación regional tienen alcances diferentes. La justificación debe relacionar distancia, barreras, cota, entorno y condiciones de mantenimiento con el escenario evaluado.

16.5 Incorporar amenazas geográficas

La evaluación debe superponer trazados y nodos con amenazas pertinentes a la zona: inundación, tsunami, incendio, sismo, deslizamiento y otras condiciones locales. El ICPC examina interacciones ambientales y riesgos naturales de los cables submarinos; esa mirada refuerza la necesidad de estudiar también la transición costa–tierra y sus concentraciones. [70]

En Chile, el Visor Chile Preparado de SENAPRED ofrece información territorial sobre amenazas como tsunami, incendios forestales y actividad volcánica. Es una herramienta de revisión inicial. La ausencia de una capa o marca no constituye una certificación de seguridad del predio ni reemplaza los estudios específicos de ingeniería y emplazamiento. [116]

Un mismo fenómeno puede afectar cable, estación, backhaul y energía. El análisis no debe evaluar cada componente de forma aislada si la amenaza los alcanza simultáneamente. Conservamos la extensión del escenario y las alternativas que quedan fuera de él, junto con su capacidad y acceso operativo.

16.6 Pedir evidencias útiles a los proveedores

La solicitud debe precisar escenarios y puntos de entrega. Pedimos trazados ejecutados, recursos compartidos y declaración de excepciones, con el nivel de detalle acordado. Si hay redes de terceros, el carrier deberá gestionar la confirmación correspondiente. La mera declaración de diversidad comercial no cubre automáticamente esos segmentos.

La información sensible puede revisarse mediante acceso restringido, un auditor acordado o documentos con detalle limitado a los riesgos relevantes. La confidencialidad requiere un mecanismo de verificación que permita concluir. Cuando no exista evidencia suficiente, registramos la separación como pendiente o parcialmente verificada, con su impacto en la decisión.

Tabla 16.2. Pedir evidencias útiles a los proveedores

Grado de información	Qué permite afirmar	Límite que debe conservarse
Declaración comercial	Existe una condición ofrecida.	Falta comprobar su correspondencia física.
Plano de diseño	Hay una separación proyectada.	Puede cambiar durante la obra.
As built conciliado	Se documenta el recorrido ejecutado.	Necesita revisión en los puntos críticos.
Auditoría con campo	Se verifican recursos y excepciones observables.	Mantiene un alcance y una fecha definidos.

16.7 Verificar en terreno sin perder trazabilidad

La inspección debe dirigirse a incertidumbres y concentraciones identificadas. Se comprobarán activos accesibles con las autorizaciones y condiciones de seguridad correspondientes. Debe registrarse qué se observó, dónde y con qué relación al plano. Una fotografía sin identificación puede mostrar una cámara correcta y seguir sin demostrar a qué circuito pertenece.

La visita puede encontrar que una alternativa usa otro soporte o entra por una cámara común. Esas diferencias se incorporarán al plano y al registro de riesgos antes de cerrar la aceptación. Si un tramo no puede observarse, se indicará el método indirecto usado y la evidencia pendiente. No se rellenará el vacío con una separación supuesta.

Los instrumentos de caracterización de fibra ayudan a conciliar longitudes y eventos, pero no dibujan por sí solos la ruta geográfica. La distancia óptica incluye condiciones del cable y de la medida. Para ubicar eventos se necesita relacionarla con tendido, reservas, uniones y registros físicos. Medición y levantamiento deben conservar sus respectivas funciones.

16.8 Simular la pérdida y comprobar la alternativa

Cada escenario debe enumerar recursos retirados, circuitos afectados y servicios que necesitan recuperarse. Después se verificará qué caminos sobreviven y qué capacidad pueden entregar simultáneamente. Una alternativa físicamente separada puede resultar insuficiente por congestión, alcance limitado o dependencia de un nodo fuera de servicio.

La prueba de conmutación demuestra comportamiento frente a la condición ensayada. Apagar un puerto no reproduce necesariamente la pérdida de una cámara que contiene varios cables. Se deben comparar los recursos afectados por el ensayo con los del escenario y señalar las diferencias. La documentación física y la prueba funcional se complementan.

El resultado puede conducir a otra ruta, un tercer corredor, una estación adicional o una condición de servicio diferente. La decisión debe registrar qué riesgo se reduce y qué riesgo permanece. Toda aceptación de una dependencia común tendrá responsable, fundamento y condición de revisión.

16.9 Conservar la diversidad después de la entrega

Una reparación temporal, una reubicación por obras o una migración de proveedor puede acercar rutas antes separadas. El control de cambios debe exigir evaluación de los circuitos afectados y actualización de planos. También debe indicar si la condición transitoria necesita aviso al cliente y cuándo se restablece la separación comprometida.

La revisión periódica se programará según riesgo, cambios y vigencia de la información. Se prestará atención a obras públicas anunciadas, renovaciones de contratos y ampliaciones de red. El inventario debe permitir localizar qué servicios utilizan un elemento que será intervenido y verificar si sus reservas pasan por ese mismo lugar.

Mantendremos indicadores con definición: circuitos críticos con trazado conciliado, dependencias comunes pendientes y excepciones vencidas, por ejemplo. El número de operadores presentes no sustituye esas medidas. El indicador debe permitir una acción concreta sobre evidencia, capacidad o exposición.

16.10 Caso de dos operadores y un puente

En un caso ficticio, el campus contrata dos servicios de operadores diferentes. Los mapas comerciales muestran aproximaciones desde direcciones distintas. La auditoría encuentra que ambos usan cables distintos sujetos al mismo puente antes de separarse. La pérdida del puente interrumpe los dos servicios.

La solución estudiada lleva una alternativa por otro cruce. Se revisan también sus cámaras de acceso, su PoP y la entrada al campus para evitar una nueva concentración. La comparación incorpora permisos, construcción, capacidad y fecha de entrega. La ruta nueva solo se acepta como alternativa cuando sus recursos y su servicio están comprobados.

Durante la construcción, los dos contratos originales continúan identificados como expuestos al riesgo común. La condición provisional se comunica y se incorpora al plan de continuidad. El caso muestra que la diversidad necesita una cadena completa de evidencias y un control del periodo de transición.

16.11 Preparar el expediente de diversidad

1. Servicios, extremos y escenarios que deben soportarse.
2. Tramos, activos, propietarios y terceros.
3. SRLG con ámbito, significado y circuitos miembros.
4. Riesgos comunes de nodos, energía, salas y entorno.
5. Planos ejecutados, revisiones y evidencias de campo.
6. Capacidad y destinos de las alternativas supervivientes.
7. Excepciones, incertidumbres y responsables de resolución.
8. Pruebas funcionales y límites del escenario ensayado.
9. Reglas de cambio, notificación y revisión de vigencia.

Entrega del capítulo. Matriz de riesgos compartidos con evidencia y pendientes.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué fallo concreto deben soportar las rutas?
2. ¿Los carriers utilizan algún recurso de un mismo tercero?
3. ¿Qué concentraciones existen en cruces y extremos?
4. ¿El plano representa lo ejecutado y tiene evidencias de campo?
5. ¿La alternativa conserva capacidad para la carga simultánea?
6. ¿Quién verifica la diversidad después de una modificación?

Capítulo 17 Permisos y construcción de planta externa

Al terminar este capítulo, el lector podrá Preparar permisos accesos y registros de la obra exterior.

Términos esenciales. Derecho de uso = autorización sobre un recurso; conforme a obra = representación ejecutada.

Una ruta de fibra pasa por espacios administrados por personas y organismos diferentes. La ingeniería debe resolver cómo construir, utilizar, mantener y eventualmente modificar esa infraestructura. El recorrido comercial se vuelve entregable cuando sus derechos, autorizaciones, obras y pruebas forman un expediente coherente.

Este capítulo sigue el proyecto desde el levantamiento hasta la recepción. Utilizamos referencias de trámites chilenos para mostrar cómo organizar dependencias, sin convertirlas en un permiso universal para toda instalación. La matriz aplicable debe verificarse para el lugar, el tipo de obra y la fecha del proyecto.

17.1 Definir el alcance y levantar el corredor

El alcance debe identificar extremos, capacidad inicial, crecimiento, separación respecto de otras rutas y punto de entrega. También debe establecer quién será dueño de ductos, cámaras, cable y fibras. Esa definición condiciona la ingeniería, los contratos de obra y los derechos necesarios para operar después de construir.

El levantamiento reconocerá topografía, servicios existentes, predios, accesos, cruces y restricciones. Se conciliará información documental con reconocimiento del terreno y con los métodos de localización apropiados. La ausencia de un servicio en un plano no basta para considerar despejada una excavación; la obra necesita su procedimiento de verificación y control.

Cada alternativa debe conservar incógnitas y condiciones de viabilidad. Un corredor corto puede requerir un cruce complejo; otro más largo puede ofrecer mejor acceso de mantenimiento. La comparación debe incluir construcción, recepción, operación y conservación de la diversidad exigida por el capítulo 16.

17.2 Separar derechos sobre el terreno y autorizaciones de obra

El proyecto debe acreditar bajo qué título utiliza cada espacio y qué trabajos puede realizar. En predios privados se revisarán los acuerdos y derechos aplicables, incluidos acceso de personal, reparación, ampliación y permanencia. La aprobación de ingeniería por una entidad no debe darse por equivalente a disponer de todos esos derechos.

Los contratos deben identificar trazado y activos, duración, condiciones de intervención y responsabilidades por reposición o traslado. Los acuerdos verbales o los planos sin vínculo con un instrumento vigente pueden dejar restricciones sin resolver. El expediente conservará las verificaciones jurídicas y técnicas que correspondan al caso, con responsable y fecha.

Tabla 17.1. Separar derechos sobre el terreno y autorizaciones de obra

Elemento del expediente	Pregunta que debe resolver	Registro de cierre
Uso del espacio	¿Quién puede autorizar ocupación y acceso?	Instrumento y alcance aplicable al tramo.
Ingeniería	¿Qué diseño y método se admiten?	Planos y condiciones aprobadas.
Ejecución	¿Qué habilita el inicio y bajo qué restricciones?	Autorizaciones y entrega de frente de trabajo.
Recepción	¿Qué demuestra correcta ejecución y reposición?	Actas, certificados y planos ejecutados.
Operación	¿Cómo se ingresa para mantener y reparar?	Procedimiento y obligaciones vigentes.

17.3 Construir la matriz de organismos competentes

En Chile, la ruta puede involucrar municipio, Dirección de Obras Municipales, SERVIU o Dirección de Vialidad del MOP, según jurisdicción y alcance. La matriz debe identificar qué institución administra el espacio y qué actuación exige la obra. No asignaremos todos los permisos a la DOM ni extenderemos automáticamente una autorización de un organismo a otro.

El MINVU mantiene orientaciones y formularios sobre permisos, aprobaciones y recepciones municipales. Para pavimentos, su ficha de rotura y reposición identifica un trámite SERVIU y su relación con la autorización municipal para intervenir bienes nacionales de uso público. Estos antecedentes deben contrastarse con la oficina competente y el proyecto específico. [117, 118]

La matriz incluirá además titulares de infraestructura y administradores de cruces cuando corresponda: ferrocarril, concesión vial, canal, cauce, puente o red existente. Debe señalar solicitud, antecedente requerido, responsable, secuencia y condición pendiente. La tarea consiste en resolver cada interfaz, con documentación verificable.

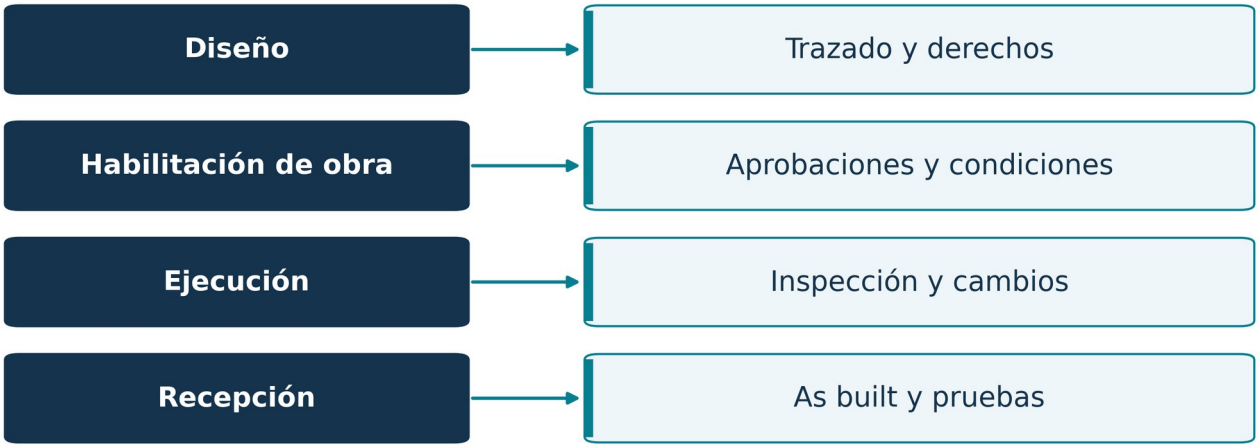


Figura 17.1. Hitos y evidencias de una ruta de planta externa. Cada aprobación conserva su alcance; los cambios de trazado deben volver a las revisiones afectadas. Elaboración propia.

17.4 Ejemplo de secuencia en la faja vial

La Dirección de Vialidad describe un permiso para paralelismos o atraviesos en la faja de caminos públicos. La ficha de ChileAtiende organiza cuatro etapas: factibilidad del emplazamiento, aprobación de ingeniería de detalles, construcción y correcta ejecución. También indica que debe cumplirse la etapa anterior para avanzar. [119, 120]

Esa secuencia obliga a separar hitos en el programa. Un pronunciamiento de factibilidad no significa que estén terminadas ingeniería, habilitación de obra y recepción. La documentación pública contempla antecedentes como planos, señalización, programa, garantías y certificados según etapa. El expediente del proyecto debe identificar los requisitos y condiciones que efectivamente se le hayan aplicado. [119, 120]

El calendario debe modelar preparación, revisión, respuestas a observaciones y dependencias de obra. No se utilizará un plazo de pronunciamiento de una etapa como duración total de entrega. El responsable actualizará el programa con el estado documentado de cada frente y con la disponibilidad de materiales y contratistas.

17.5 Revisar el componente ambiental

El análisis ambiental debe considerar ubicación, intervención y relación con otros componentes del proyecto. El SEA explica que una consulta de pertinencia solicita un pronunciamiento sobre ingreso al SEIA en base a antecedentes presentados. Su respuesta no constituye una autorización; tampoco reemplaza por sí misma los permisos de la obra. [121]

El equipo debe conservar qué proyecto fue revisado y bajo qué supuestos. Si cambia el trazado, el método o la intervención, se evaluará el efecto sobre las conclusiones y actuaciones previas. Una resolución asociada a un alcance diferente no debe incorporarse como si cubriera automáticamente la nueva solución.

Los compromisos aplicables se traducirán a controles de obra e inspección: manejo de materiales, reposición, protección de recursos y restricciones de trabajo, según el expediente. Debe existir

trazabilidad entre la condición y su cumplimiento en terreno. La documentación ambiental debe integrarse al programa y al diseño aprobado.

17.6 Cerrar la ingeniería antes de liberar cada frente

El diseño definirá secciones, ductos, cámaras, cruces, protección, soportes y reservas. Profundidad, separación, cargas y radios deben provenir del diseño aplicable, las condiciones del terreno y las especificaciones de los productos. Evitaremos convertir una cifra genérica de enterramiento o curvatura en una regla para toda instalación.

Se comprobarán drenaje, accesibilidad, espacio de trabajo y posibilidad de instalar el cable sin superar sus límites. También se revisará cómo entra la ruta al campus y dónde termina la responsabilidad del contratista externo. Una cámara ejecutada en una posición distinta puede cambiar longitudes y separación respecto de la alternativa.

Los planos de construcción deben ser los vigentes en terreno. Las consultas y desviaciones se resolverán antes de ejecutar actividades que quedarán ocultas. Si una interferencia obliga a aproximar dos rutas, se reevaluará la diversidad y se gestionarán las aprobaciones afectadas. La facilidad de obra no modifica por sí sola el requisito de continuidad.

17.7 Ejecutar y documentar la obra civil

La planificación del frente debe coordinar identificación de servicios, tránsito, accesos, excavación, sostenimiento y reposición con los procedimientos aplicables. Las actividades de mayor exposición, incluidas cámaras y trabajos próximos a redes energizadas, necesitan personal y controles adecuados. El contratista debe disponer de criterios para detener y escalar una condición distinta de la prevista.

La inspección conservará evidencias antes del relleno: ubicación, materiales, ductos, uniones, protecciones, cotas y cruces. Las pruebas de paso, integridad o estanqueidad que correspondan deben tener método y criterio de aceptación definidos. La fotografía general del frente no reemplaza el registro de medidas y elementos ocultos.

Las reposiciones deben comprobarse contra el alcance aprobado y las condiciones de recepción. Los certificados de materiales o compactación se vincularán con los sectores realmente ejecutados. La liberación parcial de un frente conservará sus límites y pendientes para evitar presentar toda la ruta como recibida.

17.8 Instalar, empalmar y caracterizar la fibra

Antes del tendido se comprobarán cable, bobina, recorrido disponible y plan de instalación. Corning distingue límites de tracción y radios durante instalación y después de ella, y remite a la ficha del cable específico. La selección de equipos de tiro y rodillos debe respetar esos límites y el método aprobado. [122]

El registro conservará identificación de bobinas, longitudes, tramos instalados, reservas, empalmes y terminaciones. Se reconciliarán fibras y colores con la documentación, sin confiar únicamente en que existe continuidad óptica. Una fibra que llega al puerto incorrecto puede transmitir y seguir siendo una entrega defectuosa.

Tabla 17.2. Instalar, empalmar y caracterizar la fibra

Control	Alcance de la evidencia	Dato que se conserva
Identidad y continuidad	Correspondencia entre fibras y extremos.	Cable, fibra, panel y puerto.
Pérdida de inserción	Pérdida del enlace bajo el método acordado.	Longitud de onda, referencia y resultado.
Reflectometría	Eventos y comportamiento del recorrido accesible.	Trazas originales y ajustes del ensayo.
Caracterización adicional	Parámetros que exige la transmisión prevista.	Método, condiciones y criterio de aceptación.

Cuando se requiera OTDR bidireccional, se conservarán ambas trazas y el tratamiento acordado de eventos; una medida aislada puede inducir interpretaciones erróneas del empalme. Pérdida, reflectometría, CD o PMD responden preguntas diferentes. El plan seleccionará los ensayos según fibra, distancia y transmisión, con acceso e instrumentos apropiados. El libro desarrollará sus métodos en los capítulos de medición.

17.9 Recibir infraestructura y preparar la operación

La recepción debe conciliar obra civil, cableado, pruebas y documentación. Los planos as built mostrarán lo ejecutado con coordenadas, cotas pertinentes, identificadores y reservas. Se incorporarán derechos, autorizaciones, actas, garantías, fotografías y resultados originales. La operación debe poder localizar y mantener la ruta a partir de ese paquete.

Los pendientes se clasificarán por efecto en seguridad, funcionamiento, documentación o prestación comprometida. Cada uno tendrá responsable, fecha y condición de cierre. Una aceptación parcial debe identificar lo que puede operar y las restricciones que conserva. La firma de recepción necesita corresponder a una configuración y un alcance concretos.

El traspaso incluirá accesos de emergencia, contactos, repuestos y reglas de intervención. Las obligaciones de reposición y traslado deben quedar accesibles al equipo de operación. El expediente debe actualizarse después de reparaciones para que la siguiente excavación utilice información vigente.

17.10 Caso de una ruta más corta que retrasa la entrega

En un caso ficticio, una propuesta reduce longitud mediante un cruce todavía no autorizado. El programa comercial lo trata como disponible y promete la misma fecha que una alternativa existente. La revisión de hitos muestra ingeniería y recepción pendientes en el corredor nuevo.

El equipo separa la fecha de servicio provisional de la fecha de la ruta definitiva. Comprueba capacidad y exposición de la solución inicial, define condiciones de migración y actualiza la oferta. La alternativa corta conserva su valor potencial, pero necesita completar sus propios derechos, permisos, obra y aceptación.

La decisión se revisa cuando llegan evidencias de cada hito. Si el cruce cambia durante la aprobación, se recalculan recorrido, presupuesto óptico y diversidad. El caso demuestra que longitud,

disponibilidad contractual y fecha de servicio son variables relacionadas que requieren comprobaciones distintas.

17.11 Preparar la carpeta de planta externa

1. Alcance, extremos, propietarios y requisitos de diversidad.
2. Levantamiento, alternativas e interferencias.
3. Derechos de ocupación, acceso y mantenimiento por tramo.
4. Matriz de autoridades y actuaciones aplicables.
5. Ingeniería vigente y control de modificaciones.
6. Programa con dependencias y frentes habilitados.
7. Inspección civil y evidencias de elementos ocultos.
8. Inventario del cableado y archivos originales de prueba.
9. As built, recepción, pendientes y traspaso a operación.

Entrega del capítulo. Expediente de trazado permisos y control de cambios.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Existe derecho de construir y mantener todos los tramos?
2. ¿Quién administra cada espacio y qué actuación requiere?
3. ¿El programa distingue factibilidad, obra y recepción?
4. ¿Los cambios conservaron diversidad y aprobaciones aplicables?
5. ¿Las pruebas corresponden al recorrido ejecutado?
6. ¿Operación puede reconstruir la ruta con el expediente recibido?

Capítulo 18 Selección estratégica del sitio

Al terminar este capítulo, el lector podrá Evaluar ubicación junto con energía demanda y conectividad.

Términos esenciales. Criterio excluyente = condición mínima; ponderación = importancia asignada en una comparación.

Seleccionar un sitio significa decidir desde dónde podrán entregarse servicios durante varias etapas de crecimiento. El terreno debe relacionarse con mercados, destinos digitales, energía, rutas, amenazas y capacidad de expansión. Un emplazamiento atractivo en una variable puede requerir obras que modifiquen su calendario o su costo total.

Este capítulo propone una evaluación por condiciones mínimas, alternativas comparables y sensibilidad. El resultado será una ficha de prefactibilidad con evidencias, incertidumbres y condiciones para pasar a diseño. La cercanía a una línea de fibra o a una subestación se tratará como un indicio que necesita convertirse en acceso entregable.

18.1 Partir de los clientes y sus destinos

El mercado objetivo determina qué conexiones aportan valor. Un campus orientado a interconexión debe estudiar operadores, nubes, redes de contenido y clientes empresariales. Una instalación para cómputo concentrado puede tener otras relaciones entre energía, tráfico y emplazamiento. La evaluación debe partir de cargas y servicios previstos, con sus restricciones de latencia, capacidad y disponibilidad.

La demanda se organizará por destino y fase. Deben distinguirse clientes confirmados, oportunidades comerciales y supuestos. Para cada grupo registramos necesidad de conexión, fecha y expansión probable. El número total de empresas de una ciudad no demuestra demanda para un producto específico ni voluntad de conectarse al campus.

Se identificarán servicios que requieren presencia física y los que pueden recibirse desde otro PoP. Esa diferencia influye en espacio de carriers, backhaul y costos de acceso. El proyecto necesita explicar cómo llega cada destino relevante a la demarcación del cliente, incluidos los desarrollos todavía pendientes.

18.2 Establecer condiciones mínimas antes de puntuar

El equipo definirá requisitos que una buena puntuación en otras variables no puede compensar. Pueden incluir capacidad eléctrica para una fecha, posibilidad de construir accesos, condiciones territoriales o un nivel de exposición admitido. Esos requisitos deben ser medibles y tener una fuente de verificación.

Cada condición se clasificará como cumplida, pendiente o incumplida. Un dato desconocido no recibirá automáticamente un valor favorable ni se promediará como si estuviera confirmado. La decisión indicará qué evidencias faltan y qué compromisos quedan condicionados a su obtención. Los umbrales deben aprobarse antes de comparar alternativas para reducir ajustes oportunistas.

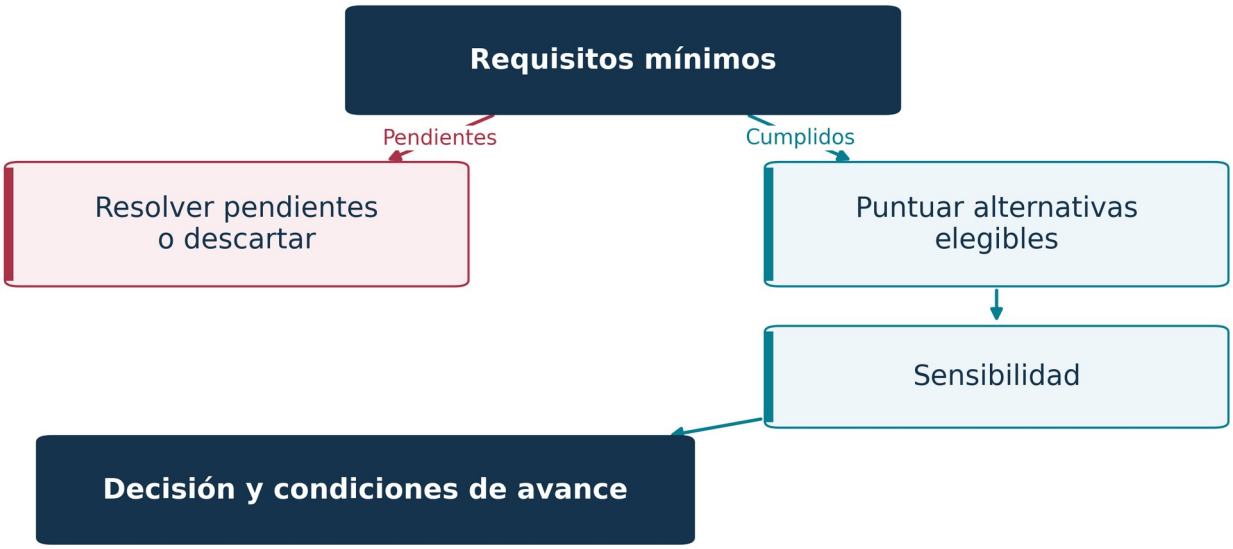


Figura 18.1. Secuencia de evaluación del sitio. Los requisitos mínimos controlan el avance; la puntuación compara las alternativas elegibles y la sensibilidad examina la estabilidad de la decisión. Elaboración propia.

18.3 Convertir infraestructura cercana en conectividad comprobada

El mapa inicial reunirá cables, PoP, estaciones de amarre, operadores y destinos. Después se solicitarán puntos de entrega, capacidad, ruta, permisos y fecha. Una fibra que pasa frente al predio puede carecer de acceso disponible, capacidad comercial o derecho de derivación. La oferta debe identificar cómo se transforma la proximidad en un servicio.

Se compararán recursos existentes y ampliaciones. Cada conexión prevista tendrá hitos de diseño, obra, equipamiento, integración y aceptación. También se comprobarán las rutas de respaldo y los recursos comunes del capítulo 16. Dos ofertas de acceso pueden depender del mismo corredor y aportar menos independencia de la esperada.

Las pruebas exploratorias de latencia deben conservar extremos y contexto. Una medida desde una oficina próxima puede no representar el recorrido futuro del campus. Las estimaciones deben indicar longitud y arquitectura supuestas; las mediciones deben relacionarse con la ruta y el servicio observados. La promesa comercial utilizará la evidencia pertinente.

18.4 Evaluar energía y calendario de conexión

La IEA identifica restricciones de red y colas de conexión como factores que pueden retrasar proyectos de data centers. Su análisis global refuerza la necesidad de revisar el suministro para cada ubicación; no proporciona por sí solo una conclusión sobre un predio chileno determinado. [123]

La ficha debe distinguir potencia requerida por fase, capacidad de suministro confirmada y trabajos pendientes. Se revisarán puntos de conexión, condiciones, calendario, responsabilidades y vigencia de las comunicaciones recibidas. La existencia de una instalación eléctrica próxima necesita acompañarse de una respuesta sobre la conexión que el proyecto podrá utilizar.

También se coordinarán calidad y continuidad del suministro con el diseño de respaldo. La evaluación de energía debe considerar ampliaciones y dependencias compartidas con otros campus o infraestructuras. Las condiciones comerciales se analizarán para el periodo del proyecto y junto con las inversiones necesarias, sin convertir un valor puntual en costo futuro garantizado.

18.5 Integrar amenazas, suelo y acceso operativo

El reconocimiento del sitio debe considerar amenazas naturales, geotecnia, drenaje y entorno construido. La revisión inicial puede utilizar herramientas públicas como el Visor Chile Preparado de SENAPRED. Esa información sirve para dirigir estudios y preguntas; la ausencia de una marca de amenaza no elimina la necesidad de evaluación específica. [116]

El escenario debe incluir los accesos externos. Un edificio puede conservar energía y quedar aislado por pérdida de caminos, rutas de telecomunicaciones o acceso de personal. Se revisarán exposición de los corredores, abastecimiento, mantenimiento y disponibilidad de recursos durante una emergencia. El perímetro de evaluación se extenderá hasta los puntos que sostienen el servicio.

La mitigación se describirá mediante medidas y efecto esperado. Para comparar sitios debe distinguirse exposición actual, inversión prevista y riesgo residual. Una medida todavía sin diseño o autorización se mantendrá como supuesto. Su efecto sobre plazo, expansión y operación se incorporará al análisis de alternativas.

18.6 Comprobar espacio y crecimiento por etapas

La expansión necesita más que superficie libre. Deben existir posibilidades de energía, refrigeración, telecomunicaciones, accesos y construcción sin afectar fases operativas. La arquitectura inicial debe reservar recorridos y espacios donde el crecimiento sea más difícil después de poner servicios en producción.

TIA presenta la revisión C de TIA-942 como un marco que abarca telecomunicaciones, energía, refrigeración, arquitectura y seguridad física. Esa visión integrada es útil para coordinar disciplinas desde el emplazamiento. La aplicación contractual requiere identificar edición, alcance y requisitos del proyecto; una referencia al estándar no acredita cumplimiento del sitio. [124]

Se preparará una secuencia de capacidad entregable. Para cada fase se indicarán salas, potencia, puertos y accesos disponibles, además de las obras habilitantes. La expansión comercial debe corresponder a hitos técnicos alcanzables. Una reserva de terreno sin suministro o conectividad programados necesita describirse como posibilidad de desarrollo.

18.7 Comparar inversión, operación y dependencias

La comparación económica debe usar el mismo alcance y horizonte. Incluimos adecuación del terreno, conexiones, transporte, derechos, obras externas, equipamiento y operación pertinente. También se identificarán gastos que dependen de terceros o de condiciones todavía no confirmadas. Las cifras deberán conservar fecha, moneda y supuestos.

El sitio más barato por superficie puede necesitar backhaul más largo o una ampliación eléctrica importante. El análisis debe relacionar esos componentes con la fecha en que generan capacidad utilizable. Las ampliaciones escalonadas pueden reducir inversión inicial y añadir dependencia de hitos futuros; el modelo debe mostrar ambas condiciones.

Tabla 18.1. Comparar inversión, operación y dependencias

Eje	Evidencia de prefactibilidad	Dependencia que debe registrarse
Mercado y destinos	Demanda, interlocutores y alcance requerido.	Decisión de clientes y disponibilidad de servicios.
Conectividad	Ofertas con extremos, rutas y fechas.	Obra, terceros, puertos y permisos.
Energía	Condiciones de conexión y potencia por fase.	Refuerzos, equipamiento y calendario.
Amenazas y terreno	Revisión territorial y estudios iniciales.	Diseño y eficacia de mitigaciones.
Expansión	Plan de capacidad e infraestructura habilitante.	Reservas y nuevas conexiones.
Economía y programa	Modelo comparable con supuestos fechados.	Precios, hitos e incertidumbres.

18.8 Usar puntuaciones sin ocultar incertidumbre

Una matriz ponderada ayuda a ordenar alternativas elegibles si los criterios están definidos. Cada nota debe tener una explicación y un sentido común: en una escala de 1 a 5, por ejemplo, un valor mayor siempre representará una condición más favorable. Las escalas deben evitar contar dos veces la misma ventaja bajo nombres distintos.

El resultado depende de las ponderaciones. Por eso probamos escenarios: mayor peso de energía, de destinos o de expansión, según el producto. Si pequeños cambios invierten el orden, la decisión necesita explicarse mediante preferencias y evidencia adicional. El número final no elimina el juicio ni convierte una nota subjetiva en medición física.

También se probarán cambios de supuestos: retraso de una ruta, menor potencia inicial o un costo de mitigación superior. Se conservará qué variable cambia y qué efecto tiene sobre elegibilidad, fecha y resultado. La sensibilidad debe conducir a una acción: confirmar un dato, negociar una condición o mantener una alternativa.

18.9 Caso comparativo de dos sitios ficticios

Supongamos dos sitios A y B evaluados de 1 a 5. Las notas son exclusivamente didácticas y no representan lugares reales. Usamos pesos de 40 % para conectividad, 30 % para energía, 20 % para condición frente a amenazas tras mitigaciones verificadas y 10 % para expansión. Ambos deben superar primero los requisitos mínimos.

Tabla 18.2. Caso comparativo de dos sitios ficticios

Criterio y peso inicial	Sitio A	Sitio B
Conectividad · 40 %	5	3
Energía · 30 %	2	4
Amenazas · 20 %	4	4

Criterio y peso inicial	Sitio A	Sitio B
Expansión · 10 %	2	5
Resultado ponderado	3,6 sobre 5	3,7 sobre 5

El cálculo de A es $0{,}40 \times 5 + 0{,}30 \times 2 + 0{,}20 \times 4 + 0{,}10 \times 2 = 3{,}6$. El de B produce 3,7. Si conectividad pasa a pesar 50 % y energía 20 %, manteniendo los otros pesos, A obtiene 3,9 y B 3,6. La preferencia cambia, por lo que el equipo debe justificar la prioridad comercial que asigna a cada eje.

Además, supongamos que A todavía no tiene confirmación del suministro exigido para la fecha de apertura. En ese estado su selección queda pendiente del requisito mínimo, aunque alcance la mayor nota en el segundo escenario. Cuando se resuelva la condición, se actualizarán sus evidencias y se repetirá la comparación con supuestos vigentes.

18.10 Preparar la decisión de paso a diseño

La recomendación debe expresar sitio, alcance de primera fase y condiciones de avance. Incluirá alternativas descartadas y sus razones, datos confirmados, pendientes críticos y responsables. La dirección necesita saber qué puede comprometer y qué depende de una respuesta futura. El diseño deberá recibir esos límites como entradas formales.

Una decisión condicionada tendrá hitos y criterios para mantenerla o revisarla. Se establecerá qué ocurre si un permiso, conexión o acuerdo no se obtiene a tiempo. La conservación de una alternativa puede ser razonable cuando la decisión depende de una incertidumbre relevante, siempre que se identifiquen sus recursos y vigencia.

El expediente continuará vivo durante diseño y construcción. Si cambia la fase comercial, la potencia o el destino principal, se revisará la selección frente a los supuestos originales. La evaluación del sitio debe acompañar la capacidad que efectivamente se pondrá en servicio.

18.11 Preparar la ficha de prefactibilidad

1. Producto, clientes, destinos y fases de demanda.
2. Predio, situación territorial y antecedentes disponibles.
3. Requisitos mínimos y estado de verificación.
4. Conectividad ofrecida y accesos por construir.
5. Energía, condiciones y fechas por fase.
6. Amenazas, estudios, mitigaciones y riesgo residual.
7. Espacio, expansión e infraestructura habilitante.
8. Modelo económico, calendario y dependencias.
9. Puntuaciones, sensibilidad y datos pendientes.
10. Recomendación, responsables y condiciones de paso a diseño.

Entrega del capítulo. Comparación de sitios con supuestos y condiciones de descarte.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué clientes y destinos justifican esta ubicación?
2. ¿Qué condiciones mínimas no admiten compensación?
3. ¿La infraestructura cercana se ha convertido en una oferta entregable?
4. ¿Energía y accesos estarán disponibles para cada fase?
5. ¿La preferencia cambia al modificar pesos o plazos?
6. ¿El diseño recibe las condiciones y pendientes de la decisión?

Parte 4 Espacios y distribución dentro del data center

Dentro del data center, las entradas y MMR se enlazan con edificios, salas y racks. El diseño conserva identidad, capacidad y dominios de falla hasta los puntos de entrega.

Capítulo 19 Arquitectura de los espacios de telecomunicaciones

Al terminar este capítulo, el lector podrá Organizar espacios y dominios de telecomunicaciones por función.

Términos esenciales. Sala de entrada = recepción de planta exterior; distribución = organización de conexiones internas.

La conectividad del campus necesita espacios donde recibir cables, terminar servicios, interconectar organizaciones y distribuir enlaces hacia los equipos. Esos espacios forman una arquitectura física y operacional. Su relación debe permitir seguir un circuito, asignar responsabilidades y mantenerlo sin comprometer otros servicios.

Este capítulo organiza entradas, salas técnicas, MMR y áreas de distribución desde el campus hasta los pisos y salas blancas. Definimos funciones, nomenclaturas y límites entre infraestructura común y cliente. Después, el capítulo 20 desarrollará el diseño y funcionamiento de las MMR.

19.1 Diseñar funciones antes de asignar nombres a salas

Montaje o lámina de apoyo: figura M.1; figura M.9. La leyenda conserva el alcance y las comprobaciones del ejemplo.

El programa debe comenzar por lo que necesita ocurrir: recibir planta externa, hacer transiciones de cable, alojar equipos de transporte, interconectar partes y distribuir hacia clientes. Algunas funciones pueden compartir un recinto si el diseño y sus condiciones lo permiten. Otras requieren separación por continuidad, seguridad, operación o crecimiento.

La planta arquitectónica debe relacionarse con un diagrama funcional. Una puerta con el rótulo telecomunicaciones no explica qué cables llegan, qué servicios terminan ni quién entra. Para cada recinto registramos función, usuarios autorizados, activos, entradas y salidas, dependencias y capacidad de expansión.

TIA-942-C abarca la infraestructura de telecomunicaciones junto con disciplinas como energía, refrigeración y arquitectura. ISO/IEC TS 22237-5:2018 incluye canalizaciones, espacios y envolventes de la infraestructura de cableado. Sus alcances públicos orientan la coordinación; los requisitos aplicables deben fijarse con la edición y el texto del estándar que adopte el proyecto. [124, 125]

19.2 Organizar la entrada al campus y al edificio

La entrada comprende la aproximación exterior, los elementos de paso y la transición al interior. Debe identificarse dónde termina el alcance de planta externa y quién mantiene cada elemento. El diseño considerará acceso para obra y reparación, protección del cable, sellado, entorno y compatibilidad con los materiales y métodos de instalación.

Si hay rutas A y B, se comprobará la continuidad de su separación en cámaras, pasos y recorridos interiores. Dos penetraciones distintas pueden converger de inmediato en una sola bandeja. El análisis debe seguir los circuitos hasta los puntos cuya independencia exige el proyecto y conservar sus aproximaciones críticas.

Las transiciones entre cable exterior e interior se resolverán según las condiciones del edificio, la clasificación del producto y las exigencias aplicables. El plano debe identificar uniones, reservas y terminaciones. Los sellos de penetraciones deben conservarse después de cada alta o retiro de cable, con inspección y registro de los trabajos.

19.3 Distinguir sala de entrada, MMR y distribución principal

Una sala de entrada recibe y organiza la llegada de redes externas. Una MMR facilita interconexiones entre operadores, clientes y otras partes. Un área de distribución principal concentra funciones del cableado y, según arquitectura, puede alojar equipos centrales. Son descripciones funcionales que deben conciliarse con el estándar y los nombres del campus.

Fluke Networks describe las áreas MDA, HDA y EDA en su explicación del cableado de data centers: distribución principal, distribución horizontal y ubicación de equipos finales. Esa distinción ayuda a recorrer la infraestructura. No exige llamar MMR a la MDA ni supone que cada función corresponda siempre a una habitación independiente. [126]

Tabla 19.1. Distinguir sala de entrada, MMR y distribución principal

Espacio o área funcional	Función en el recorrido	Límite por documentar
Entrada	Recibir el acceso exterior y su transición.	Planta externa, recinto y terminación.
MMR	Interconectar partes mediante puntos controlados.	Paneles, equipos y responsabilidades.
Distribución principal	Organizar el núcleo del cableado del campus o edificio.	Áreas servidas y funciones compartidas.
Distribución de edificio o piso	Extender y organizar conexiones hacia zonas.	Troncales y distribución local.
Sala blanca y área de equipos	Alojar racks y equipos del servicio.	Entrega común, cliente y red propia.

19.4 Relacionar campus, edificios y pisos

Un campus puede tener MMR comunes y distribución por edificio, o repetir ciertas funciones en varias construcciones. La selección depende de distancias, fases, clientes y objetivos de continuidad. Debe analizarse qué edificios pierden conexión si un recinto, enlace o cruce de campus queda fuera de servicio.

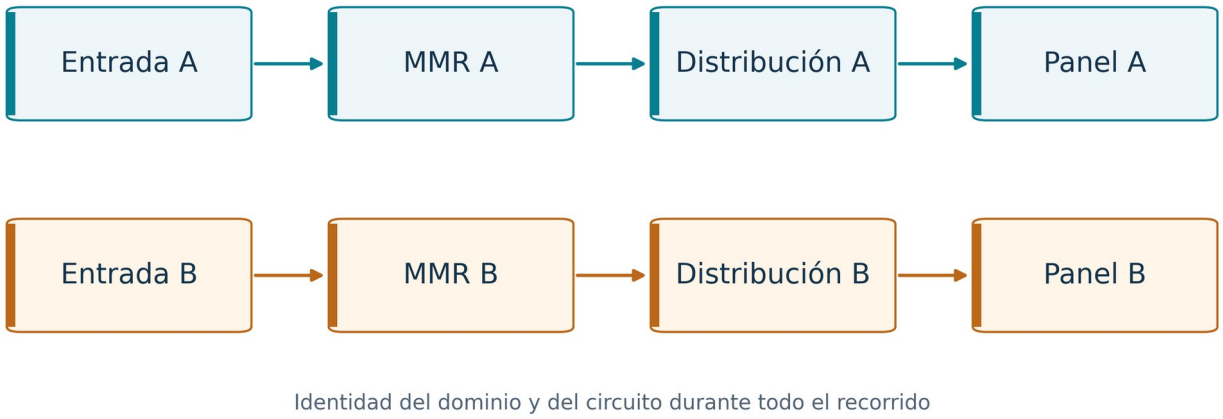


Figura 19.1. Dos dominios de recorrido hacia una sala blanca. Las áreas A y B conservan identificación hasta los paneles de entrega; su separación debe demostrarse en los planos y dependencias reales. Elaboración propia.

Los enlaces entre edificios necesitan capacidad, presupuesto óptico y recursos de mantenimiento. Su trazado debe conciliarse con energía, obras futuras y accesos. Un cruce exterior compartido puede concentrar la conectividad de varios edificios aunque sus salas estén separadas. Esa dependencia debe integrarse al registro de riesgos del campus.

En cada piso o zona se revisará dónde distribuir y cuánto cableado concentrar. Las distancias y los puntos de conexión influyen en la selección de medio, interfaces y pruebas. El número de niveles de distribución se justificará por la solución; añadir paneles también añade conexiones, administración y condiciones para el presupuesto del enlace.

19.5 Separar cableado de servicio, gestión y edificio

La arquitectura debe incluir conexiones de clientes y redes que sostienen la operación: gestión, supervisión, control ambiental y seguridad física, según el alcance. El resumen público de ISO/IEC TS 22237-5 contempla estas familias de cableado y automatización. Deben aparecer en el inventario de espacios y canalizaciones, con sus responsables. [125]

Compartir un recinto no obliga a compartir administración ni acceso. La red de gestión de equipos puede requerir otro dominio de seguridad y un camino que sobreviva a la falla observada. La supervisión de una sala no debe desaparecer inadvertidamente por la misma dependencia que se pretende detectar. El diseño identificará esos casos y sus alternativas.

Se revisarán interferencias, compatibilidad y separaciones requeridas entre sistemas, conforme al proyecto y las exigencias aplicables. Las bandejas deben tener una asignación legible. La ocupación de una ruta por otro sistema puede reducir reserva o impedir mantenimiento, aunque todavía exista capacidad en los paneles ópticos.

19.6 Precisar infraestructura común y espacio de cliente

El operador del campus puede administrar entradas, troncales, paneles y cross connects; el cliente puede administrar su rack y sus equipos. Esa distribución varía. Cada interfaz debe indicar propietario, instalador, mantenedor, autoridad de cambio y responsable de pruebas. La ubicación dentro de una jaula no responde automáticamente todas esas preguntas.

Equinix documenta arquitecturas MMR donde un cable interno enlaza el panel del cliente con la sala y otro segmento completa la interconexión allí. Es un ejemplo concreto de cómo el servicio se divide en componentes con extremos identificados. Su disponibilidad y nomenclatura dependen del centro y del producto del proveedor. [127]

El plano debe distinguir límite físico de demarcación contractual y lógica. Un panel puede ser una frontera de mantenimiento del cableado mientras la entrega Ethernet ocurre en otro puerto. El expediente debe relacionarlos. Así se evita que una prueba del tramo común se presente como aceptación de una prestación que continúa dentro del espacio del cliente.

Tabla 19.2. Precisar infraestructura común y espacio de cliente

Interfaz	Asignación mínima	Evidencia de conformidad
Exterior a entrada	Propiedad, acceso y conservación.	Activos y trazado conciliados.
Carrier a MMR	Equipos, panel y condiciones de entrega.	Puerto autorizado y pruebas del alcance.
MMR a distribución	Troncal, fibras y administración.	Identidad, capacidad y caracterización.
Común a cliente	Punto de demarcación y autoridad de cambio.	Orden, entrega y aceptación identificadas.

19.7 Asignar nombres e identificadores duraderos

Usamos una jerarquía que permita ubicar un activo sin confundirlo con el servicio que utiliza: campus, edificio, piso, sala, rack, panel y puerto. Cada objeto conservará un identificador estable y relaciones con cables y circuitos. El nombre visible podrá ser legible, mientras el registro mantiene la identidad aun cuando cambie el ocupante.

Como ejemplo ficticio, CP01–E02–P01–MMRA–R03–ODF02–P024 identifica una posición de panel en una sala determinada. El diccionario debe definir qué significa puerto en ese panel: monofibra, dúplex u otra unidad. También deberá conservar tipo de interfaz y posición física para evitar que una capacidad se contabilice con unidades diferentes.

Las letras A y B de rutas o salas no deben confundirse con extremos A y Z de una orden de cross connect. En el libro usamos A/B para dominios alternativos cuando el contexto lo indique y A/Z para extremos de una conexión. La documentación de cada operador debe definir su convención y conciliar equivalencias.

19.8 Dimensionar reservas y accesibilidad

La capacidad de un espacio tiene varias dimensiones: superficie útil, posiciones de rack, unidades disponibles, puertos, fibras, bandejas, potencia y refrigeración. Una sala puede tener puertos libres y carecer de espacio para organizar nuevos latiguillos. El modelo de capacidad debe revisar todos los recursos necesarios para la entrega.

Las reservas se expresarán con unidad y denominador. No es lo mismo añadir un 30 % a la demanda que exigir un 30 % de capacidad instalada libre. Además, debe identificarse qué reserva queda disponible durante mantenimiento y contingencia. La capacidad de dos dominios de protección no debe contarse como si fuera toda vendible al mismo tiempo.

El diseño debe permitir acceso a frentes, extracción de equipos, tendido, limpieza e inspección sin mover conexiones ajenas. Las dimensiones necesarias dependen de equipos, racks, producto y exigencias aplicables. El plano debe verificar esas actividades con la ocupación futura prevista, no únicamente con la sala inicialmente vacía.

19.9 Coordinar soporte y dominios de falla

Cada sala con equipos activos necesita cargas y condiciones ambientales documentadas. Se revisarán alimentación, distribución, protección, puesta a tierra y unión equipotencial según ingeniería, además de refrigeración y monitoreo. El sistema pasivo también requiere protección física y acceso controlado, aunque sus paneles no consuman energía de operación.

La independencia debe revisarse entre disciplinas. Dos MMR pueden depender de una única distribución eléctrica, una misma unidad de refrigeración o un paso común de cables. El diseño indicará qué escenarios cubre y cómo se mantiene el servicio durante trabajos programados. Una separación arquitectónica necesita acompañarse de dependencias coherentes.

Los cambios de salas y canalizaciones se coordinarán con protección contra incendios, seguridad y estructura. El expediente debe conservar capacidad de soporte, penetraciones y sellos. La incorporación tardía de telecomunicaciones puede obligar a modificar sistemas ya recibidos y afectar el calendario de activación.

19.10 Caso de dos MMR con una distribución común

En un caso ficticio, un campus tiene MMR A y B en recintos diferentes. Ambas rutas hacia una sala blanca atraviesan el mismo cuarto de distribución y la misma bandeja. La pérdida de ese punto interrumpe las dos entregas, aunque las MMR permanezcan disponibles.

El equipo redefine dominios hasta los paneles de entrega y desarrolla una distribución alternativa que evita el cuarto común. Revisa presupuesto óptico, capacidad, penetraciones y mantenimiento. Durante la transición mantiene el punto común en el registro de riesgos y describe la protección que realmente puede ofrecer.

La aceptación relaciona planos, etiquetas y ensayos con la configuración nueva. La conclusión se limita a los escenarios verificados. El caso muestra que la arquitectura se evalúa por el recorrido del servicio y sus dependencias, además de contar el número de recintos.

19.11 Preparar el programa de espacios de telecomunicaciones

1. Funciones requeridas y relación entre campus, edificios y pisos.
2. Entradas y continuidad de separación de recorridos.
3. Salas, áreas servidas y activos previstos.
4. Nomenclaturas, identificadores y equivalencias.
5. Límites de infraestructura común, carrier y cliente.
6. Capacidad inicial y reservas en cada recurso.
7. Alimentación, ambiente, seguridad y otros soportes.
8. Actividades de instalación y mantenimiento verificadas.
9. Planos, pruebas, pendientes y condiciones de expansión.

19.12 Plano funcional del Campus Faro

El campus didáctico contiene tres edificios de 24 racks cada uno. La entrada A conduce a MMR-A y la entrada B a MMR-B. Cada MMR alimenta una troncal propia hacia cada edificio y conserva su identidad hasta los paneles del rack. El plano funcional muestra seis troncales, pero no acredita por sí solo separación territorial ni independencia de energía, refrigeración o protección contra incendios.

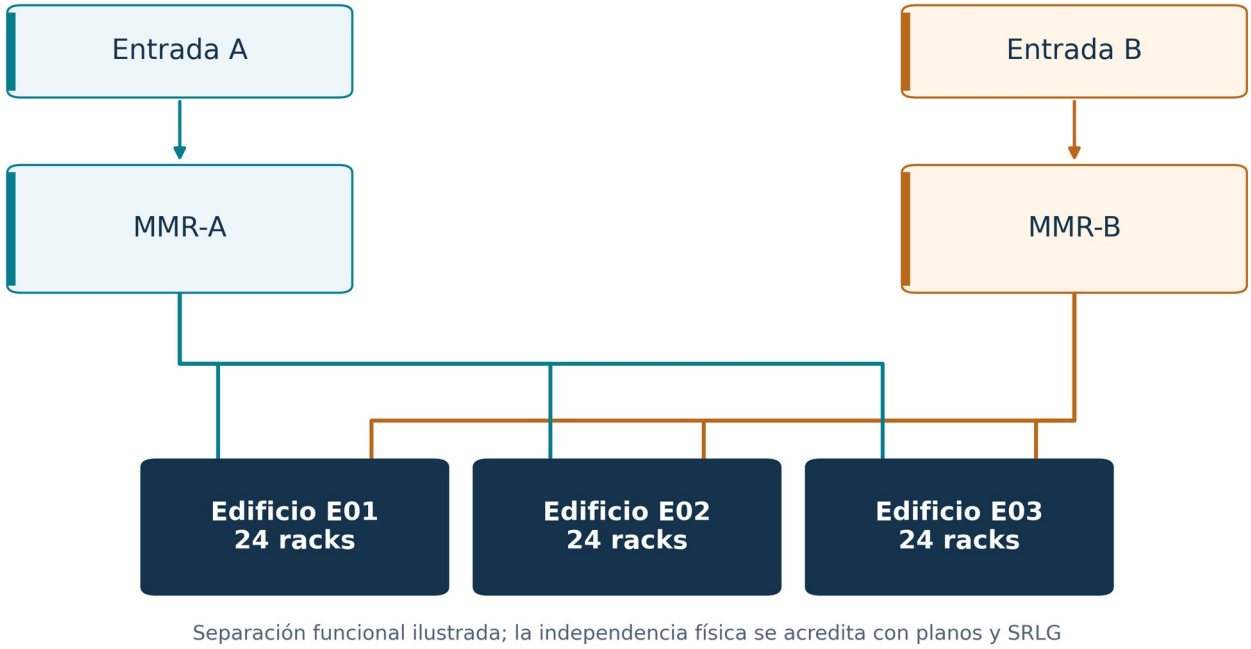


Figura 19.2. Dos dominios funcionales y tres edificios del Campus Faro. Los recorridos requieren comprobación con planos ejecutados y matriz SRLG. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

El entregable de ingeniería relaciona esta vista con planta del campus, sección de canalizaciones, penetraciones y puntos de aproximación. Para cada cruce se indica si ambas rutas pueden ser afectadas por la misma obra o siniestro. Los límites de cliente, infraestructura común y carrier se representan en el inventario con propietario y responsable de intervención.

Entrega del capítulo. Programa de espacios y plano funcional del campus.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Cada sala tiene una función y un área de servicio definidas?
2. ¿Entrada, MMR y distribución principal están diferenciadas?
3. ¿Las rutas alternativas permanecen separadas hasta la entrega requerida?
4. ¿Quién administra cada segmento y su demarcación?
5. ¿Puertos, fibras y posiciones utilizan unidades consistentes?
6. ¿Puede crecer y mantenerse la infraestructura con la ocupación futura?

Capítulo 20 Diseño y funcionamiento de las MMR

Al terminar este capítulo, el lector podrá Dimensionar y operar una MMR con accesibilidad y reservas.

Términos esenciales. MMR = sala de interconexión; ODF = distribución óptica con terminaciones identificadas.

La meet-me room, MMR, es un punto de encuentro entre redes y organizaciones. En ella pueden terminar accesos, alojarse equipos de operadores y realizarse interconexiones hacia clientes. Su diseño debe permitir que cada conexión tenga extremos, recorrido, capacidad, autorización y evidencias identificables.

Una MMR útil combina infraestructura y operación. Necesita espacio para crecer, organización de paneles, condiciones para los equipos y una disciplina de trabajo que reduzca intervenciones sobre servicios ajenos. En este capítulo definimos esas funciones y calculamos un ejemplo de capacidad con unidades explícitas.

20.1 Definir qué entrega la MMR

El programa de la sala debe indicar qué organizaciones participan, qué redes llegan y dónde se interconectan. Algunas MMR son predominantemente pasivas; otras incluyen terminales, switches o routers de carriers. La función debe describirse por activos y servicios, con delimitación de responsabilidades y espacio reservado.

Oracle describe la MMR como un punto seguro de entrega de conectividad antes de distribuirla al resto de la instalación. Su guía añade requisitos para despliegues propios. Ese ejemplo muestra la relación entre función y acceso, pero sus exigencias particulares no deben trasladarse como reglas universales para cualquier campus. [128]

La presencia física de un operador debe vincularse con un alcance utilizable. Un rack instalado puede carecer de puertos libres, de conexión comercial activable o de una ruta de respaldo. El inventario de la MMR debe conservar estado de disponibilidad, recursos y condiciones de entrega junto con la identidad del proveedor.

20.2 Decidir cantidad, ubicación y dominios de falla

La cantidad de MMR parte de objetivos de continuidad y escala. Si el proyecto necesita conservar una entrega durante la pérdida de un recinto, debe desarrollar dominios que eviten ese recinto y sus dependencias críticas. No adoptaremos una cantidad universal de salas ni una distancia única como garantía de separación.

Se analizarán entradas, recorridos, protección contra incendios, energía, refrigeración y acceso. Dos habitaciones pueden seguir dependiendo del mismo paso de cables o del mismo sistema de soporte. Las letras A y B identificarán dominios definidos por el proyecto; el nombre no acredita independencia.

La ubicación debe equilibrar acceso de carriers y seguridad del campus. Los trabajos de interconexión necesitan llegar a la sala sin atravesar innecesariamente espacios de clientes. También debe poder introducirse o retirar equipamiento y ampliar troncales durante la operación. El plano verificará esas actividades y el mantenimiento de las alternativas.

20.3 Organizar racks, ODF y áreas de trabajo

Montaje o lámina de apoyo: figura M.2; figura M.3; figura M.4. La leyenda conserva el alcance y las comprobaciones del ejemplo.

El optical distribution frame, ODF, organiza terminaciones y conexiones de fibra. Puede reunir paneles, bandejas de empalme y gestión de latiguillos según el producto. El diseño debe identificar qué funciones aloja cada rack y quién puede intervenirlas. La densidad del panel debe coordinarse con accesibilidad y organización del cableado.

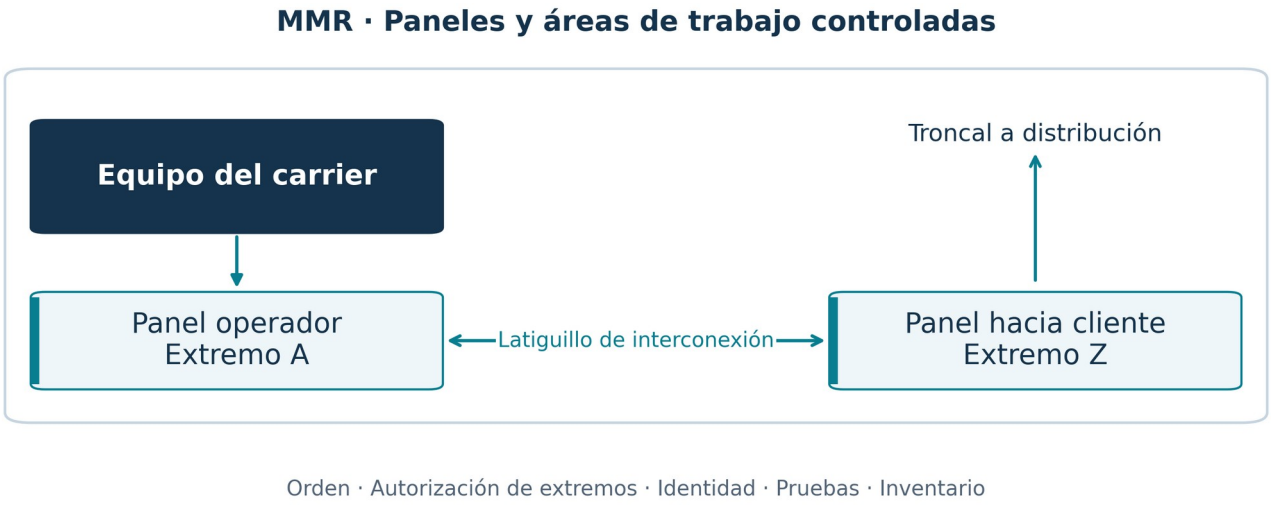


Figura 20.1. Interconexión pasiva dentro de una MMR. El equipo del carrier puede estar en la sala o en otro recinto; la distribución al cliente continúa fuera del esquema. Los extremos de la orden se identifican como A y Z. Elaboración propia.

Separamos zonas de equipos activos, terminación de accesos y distribución hacia clientes cuando el modelo de operación lo requiera. Los recorridos de latiguillos tendrán organización y reservas controladas. No deben bloquear extracción de módulos, ventilación, puertas o identificación. La capacidad se evaluará con la ocupación futura prevista.

La altura de rack disponible debe descontar organizadores, bandejas y elementos de soporte. También se verificará capacidad estructural, profundidad, fijación y acceso a ambos frentes cuando proceda. Sumar unidades de panel sin considerar esos recursos puede producir una sala con puertos instalados que resulten difíciles de utilizar.

20.4 Definir los equipos que pueden alojarse

El carrier debe entregar un perfil de equipos: función, dimensiones, peso, potencia, alimentación, flujo de aire, interfaces y mantenimiento. El operador del campus comprobará compatibilidad y condiciones de instalación. Una reserva de espacio no debe convertirse en autorización para cualquier consumo o dirección de ventilación.

Tabla 20.1. Definir los equipos que pueden alojarse

Recurso	Datos que se solicitan	Interfaz de responsabilidad
Terminal óptico o transpondedor	Modo, puertos, potencia y gestión.	Carrier y soporte del recinto.
Switch o router	Interfaces, capacidad, consumo y ventilación.	Servicio de red y condiciones de alojamiento.
ODF y paneles	Unidad de puerto, conectores y organización.	Terminación, parcheo y pruebas.
Troncales a clientes	Fibras, extremos, rutas y reserva.	Infraestructura común y entrega.
Supervisión y gestión	Acceso, alarmas y soporte.	Administración del equipo y del edificio.

Se registrarán equipos instalados, previstos y disponibles para entrega. Los repuestos y herramientas conservarán su ubicación y condiciones de acceso. Si la sustitución de un módulo requiere espacio o una ventana, esa necesidad debe contemplarse al asignar racks y comprometer soporte.

20.5 Diseñar interfaces y presupuesto óptico

La interconexión debe conciliar tipo de fibra, conectores, pulido, polaridad y transmisión. La coincidencia de forma externa no demuestra compatibilidad de las superficies de contacto ni de la aplicación óptica. La orden y el inventario deben indicar las características que corresponden a cada extremo y al latiguillo empleado.

El presupuesto del enlace incluirá todos los tramos, conectores y empalmes hasta la interfaz que se acepta. Añadir un panel intermedio modifica pérdida y administración. Los límites y reservas deben provenir del diseño y de los equipos utilizados. Una cross connect corta puede formar parte de un recorrido cuyo margen ya es reducido.

Inspección, limpieza, conexión y medición seguirán procedimientos y criterios definidos para los componentes utilizados. Se conservará la evidencia de las pruebas exigidas. La continuidad óptica comprueba una condición básica; no acredita por sí sola pérdida admisible, identidad completa, compatibilidad de interfaz o desempeño del servicio.

20.6 Dimensionar puertos, fibras y reservas

La unidad de capacidad debe ser inequívoca. Un puerto dúplex puede utilizar dos posiciones monofibra; una conexión paralela utiliza otra cantidad de fibras. El número de adaptadores, posiciones de panel, fibras de troncal y conexiones de servicio debe relacionarse mediante el modelo de interconexión previsto.

La demanda debe dividirse entre activa, reservada para pedidos, reserva de crecimiento y recursos no utilizables. Un puerto libre físicamente puede no estar disponible comercialmente si está asignado a una orden. Las reservas deben conservar destino y vigencia para evitar doble venta o bloqueo indefinido de capacidad.

Se establecerán umbrales de ampliación considerando el plazo de suministro e instalación. No es necesario esperar a ocupar el último puerto para iniciar una expansión. La revisión debe incluir

paneles, organizadores, bandejas, fibras, racks, potencia y refrigeración de los equipos adicionales que hagan posible la nueva entrega.

20.7 Coordinar energía y ambiente de los equipos

Los paneles pasivos no necesitan alimentación para transmitir, pero los equipos activos alojados en la sala sí. El balance eléctrico debe identificar cargas, fuentes y conexiones, además de la condición durante mantenimiento o pérdida de una alimentación. Cuando se exija redundancia, se comprobará su recorrido completo y el comportamiento del equipo.

ASHRAE relaciona las condiciones térmicas de equipos refrigerados por aire con el aire que ingresa al equipo. Por ello, el monitoreo debe considerar las entradas y el patrón de ventilación, además de una lectura general del recinto. Los límites se conciliarán con clase ambiental, fabricante y diseño adoptado. [129]

La capacidad de refrigeración debe relacionarse con cargas previstas y condiciones de falla o mantenimiento. Un nuevo equipo puede cambiar el flujo de aire aunque conserve la potencia total autorizada. El proceso de alta debe revisar orientación, obstrucciones y disipación, con actualización del balance y de los puntos de supervisión.

20.8 Controlar accesos e intervenciones

La política de acceso debe indicar quién entra, con qué autorización y a qué activos puede acceder. El permiso de entrada al recinto no equivale a autorización para tocar todos sus paneles. Las órdenes de trabajo identificarán circuito, extremos, actividad, impacto previsto y responsable de cierre.

Cada intervención debe disponer de información vigente y comprobar identificadores antes de desconectar. Las actividades que puedan afectar servicio conservarán ventana, coordinación y retorno previsto. Después del trabajo se comprobará el resultado y se actualizarán conexiones, fotografías o registros que correspondan. Una etiqueta antigua no debe mantenerse como referencia del circuito nuevo.

La sala necesita reglas de orden y conservación: materiales autorizados, almacenamiento, protección de conectores, retiro de residuos y restitución de sellos. Los hallazgos deben vincularse con una acción y un responsable. La inspección de infraestructura complementa el registro de accesos y órdenes.

20.9 Gestionar el ciclo de vida de la cross connect

La solicitud debe identificar las dos partes, extremos autorizados y características de la conexión. Después se comprueban recursos, se reserva capacidad y se programa instalación. La autorización de un puerto de otra organización debe conservarse mediante el mecanismo acordado, como una carta LOA cuando corresponda al servicio.

Equinix distingue el cableado interno hacia una MMR y el segmento que completa allí la interconexión en determinados centros. Ese ejemplo muestra por qué la orden debe identificar todos los componentes que faltan para una entrega completa. Los nombres y responsabilidades deben ajustarse al modelo del campus. [127]

La instalación se cierra con identidad, recorrido y pruebas del alcance entregado. La activación del servicio del carrier puede requerir una etapa adicional. El inventario debe distinguir conexión

instalada, servicio activo y aceptación comercial. En la baja se retirará o liberará cada componente autorizado y se comprobará qué capacidad vuelve a estar disponible.

20.10 Caso de capacidad para 200 conexiones dúplex

Consideremos una única MMR ficticia donde cada cross connect une un puerto dúplex del panel de operador con un puerto dúplex del panel hacia cliente. Ambas posiciones de panel están dentro del alcance del cálculo. Para 200 conexiones activas se ocupan 200 posiciones dúplex del lado operador y 200 del lado cliente: 400 en total.

Supongamos que el proyecto exige mantener libre al menos el 40 % de las posiciones dúplex instaladas. La ocupación máxima será entonces del 60 %. La capacidad mínima se calcula como $\frac{400}{0{,}60} = 666{,}67$, por lo que se necesitan al menos 667 posiciones dúplex. Este porcentaje expresa reserva sobre capacidad instalada, no un aumento del 40 % sobre la demanda.

Para este ejemplo elegimos paneles hipotéticos de 24 posiciones dúplex. Son necesarios 28 paneles, que proporcionan 672 posiciones: 14 paneles y 336 posiciones por lado. Quedan 272 posiciones libres, equivalentes a $\frac{272}{672 \times 100} = 40{,}48\ \%$. El supuesto de 24 posiciones es didáctico y no prescribe un producto.

Tabla 20.2. Caso de capacidad para 200 conexiones dúplex

Magnitud del caso	Resultado	Interpretación
Conexiones activas	200	Cada conexión usa dos extremos dúplex.
Posiciones dúplex ocupadas	400	200 en cada lado.
Capacidad instalada elegida	672	28 paneles de 24 posiciones.
Posiciones dúplex libres	272	136 por lado si la ocupación es equilibrada.
Reserva instalada libre	40,48 %	272 dividido por 672.

Las 400 posiciones dúplex ocupadas representan 800 posiciones monofibra en los paneles considerados. Esa cifra cuenta extremos de panel; no representa 800 fibras de recorrido ni todos los conectores del sistema completo. El modelo debe indicar exactamente qué se suma para evitar duplicaciones.

El número de paneles todavía debe convertirse en racks y espacio mediante altura real, organizadores, bandejas, accesibilidad y reservas. También deben dimensionarse las troncales hacia clientes. Si se replica una solución en otra MMR para continuidad, su capacidad se calculará contra el escenario de servicio previsto y se conservará separada de la reserva comercial.

20.11 Aceptar la sala y las entregas iniciales

La puesta en servicio comprobará el recinto, los soportes y el cableado, con alcances y responsables coordinados. Deben verificarse identificación, capacidad, recorridos, sellos, acceso y condiciones de equipos. Las pruebas eléctricas, ambientales y de seguridad corresponderán a los diseños y procedimientos aplicables.

Para el cableado se conservarán correspondencia de fibras, pérdida y otras medidas acordadas, además del as built. Los ensayos de servicios comprobarán los puntos de entrega y la recuperación exigida. La referencia a TIA-942-C ayuda a fijar un marco de infraestructura, pero no sustituye evidencias ni constituye por sí misma una certificación de la sala. [124]

La aceptación incluirá capacidad realmente utilizable, pendientes y restricciones. Operación debe recibir inventario, órdenes, documentación de equipos, contactos y métodos de intervención. La primera conexión de cliente debe poder tramitarse con esos registros, sin reconstruir la ingeniería a partir de observaciones informales.

20.12 Preparar la ficha de diseño y operación de la MMR

1. Función, partes participantes y servicios entregables.
2. Ubicación, dominios de falla y rutas de entrada y salida.
3. Racks, equipos, ODF, paneles y áreas de trabajo.
4. Interfaces, presupuesto óptico y pruebas.
5. Demanda, unidad de puerto, reservas y umbrales de ampliación.
6. Potencia, alimentación, ambiente y supervisión.
7. Accesos, autorizaciones y órdenes de trabajo.
8. Ciclo de altas, cambios, bajas e inventario.
9. Aceptación, as built, pendientes y traspaso a operación.

20.13 Elevación y capacidad de una MMR del caso

La elevación distingue terminación del carrier, paneles de cross connect, equipo activo y salida de troncales. Es una asignación funcional: las dimensiones y unidades de rack de una instalación real deben proceder de los componentes seleccionados y de sus condiciones de soporte. Se comprueba acceso frontal y posterior, extracción de equipos, radios de curvatura y continuidad de las condiciones ambientales con ocupación futura.

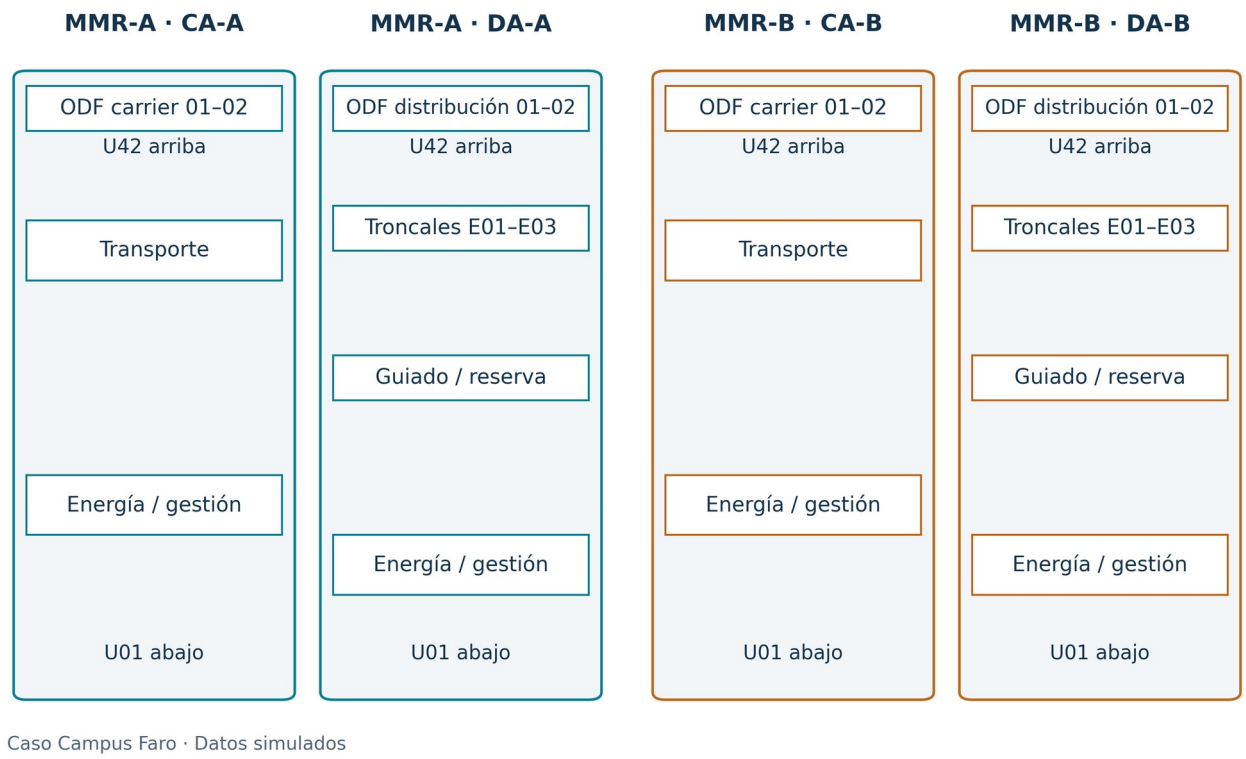


Figura 20.2. Elevaciones funcionales de racks de MMR-A y MMR-B. No representan un producto ni una distribución dimensional aprobada. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

Una reserva de posiciones no se convierte directamente en una reserva de conexiones. El cálculo relaciona extremo del carrier, extremo del cliente, fibras de troncal, paneles y capacidad de organización. Las letras A y B identifican dominios de continuidad; en una orden concreta se utilizan extremos A y Z con una convención independiente para evitar ambigüedad.

Entrega del capítulo. Elevación de racks puertos reservas y reglas de intervención.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué servicios puede entregar hoy cada operador presente?
2. ¿La cantidad y ubicación de MMR responden a escenarios definidos?
3. ¿Paneles, equipos y latiguillos pueden mantenerse con la ocupación futura?
4. ¿La reserva se calcula sobre demanda o sobre capacidad instalada?
5. ¿El inventario diferencia conexión física y servicio activo?
6. ¿La aceptación y los registros permiten tramitar la siguiente conexión?

Capítulo 21 Interconexión entre MMR y edificios

Al terminar este capítulo, el lector podrá Relacionar enlaces entre MMR con distribución y escenarios de falla.

Términos esenciales. Troncal = cable de distribución; DCI = interconexión entre data centers.

La conexión entre salas y edificios debe conservar la capacidad y los dominios de falla que justificaron la arquitectura del campus. Conectar todas las MMR entre sí puede facilitar entregas, pero también crear recorridos comunes que el plano inicial no había previsto. La decisión comienza por identificar qué servicio necesita atravesar cada enlace.

Seguimos troncales, distribuidores y puntos de interconexión. El lector deberá poder justificar qué salas se conectan, qué servicios permanecen separados y cómo se mantiene una entrega durante la pérdida de un tramo. La conectividad entre recintos se comprobará tanto en el inventario físico como en el servicio que utiliza sus fibras.

21.1 Definir las relaciones que necesita el campus

Preparamos una matriz de origen y destino. Cada fila indicará MMR, edificio, distribución atendida, capacidad inicial y crecimiento. Distinguimos un enlace para entregar servicios de carrier, una interconexión de equipos y una conexión destinada a mantenimiento. Aunque utilicen el mismo medio, sus condiciones de uso y continuidad pueden ser diferentes.

La interconexión entre MMR permite alcanzar un operador ubicado en otra sala. Debe explicarse dónde se realiza la cross connect y qué troncal añade al recorrido. Un cliente entregado en MMR B puede seguir dependiendo del equipo del carrier en MMR A. La extensión conserva esa dependencia mientras no exista una alternativa real.

La matriz también indicará conexiones prohibidas o condicionadas por el diseño. Si dos dominios deben mantenerse independientes, una conexión nueva necesita demostrar cómo conserva esa condición. La flexibilidad comercial debe apoyarse en rutas disponibles y en un procedimiento que haga visibles las dependencias introducidas.

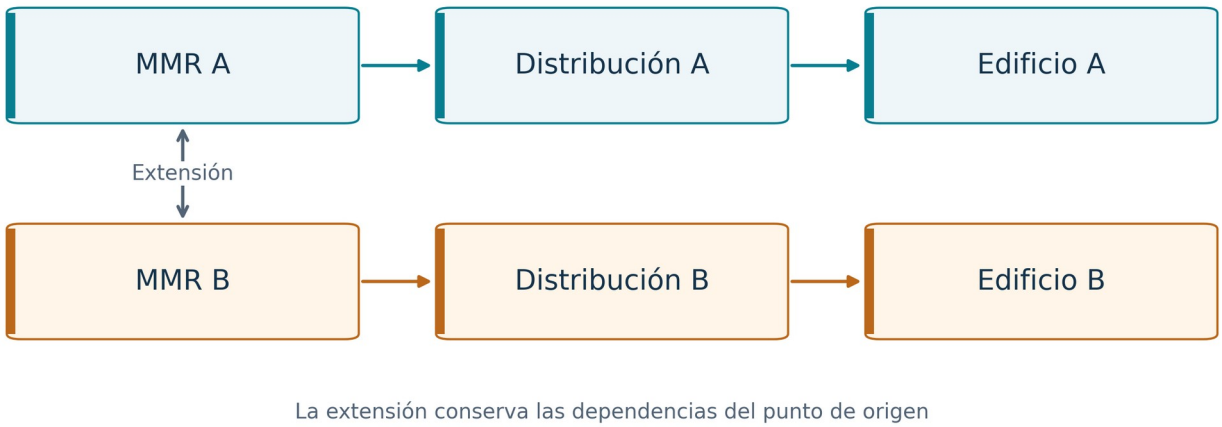


Figura 21.1. Las troncales de entrega y el enlace entre MMR cumplen funciones diferentes. Una extensión desde otra sala conserva la dependencia de su origen. Elaboración propia.

21.2 Elegir estrella, anillo o malla según su función

Una estrella concentra enlaces en un distribuidor y facilita identificar extremos. Debe evaluarse el efecto de perder ese distribuidor y sus accesos. Una estrella duplicada puede conservar servicio si los dos dominios evitan dependencias comunes relevantes. La forma geométrica del dibujo necesita traducirse a cables, recorridos y equipos.

Un anillo proporciona dos direcciones físicas potenciales, pero el cableado pasivo no conmuta tráfico por sí solo. Los equipos y protocolos deben implementar el mecanismo previsto. Una malla ofrece más relaciones y exige mayor administración de capacidad y rutas. La selección debe incluir expansión, mantenimiento y costo de los recursos adicionales.

Revisamos la configuración normal y los escenarios de pérdida. Una topología puede ser adecuada para entregar servicios separados y resultar insuficiente para restaurar tráfico entre todos los edificios. Cada escenario tendrá un conjunto de conexiones supervivientes y una capacidad utilizable; no basta con que el grafo conserve alguna línea.

Tabla 21.1. Elegir estrella anillo o malla por su función

Relación	Utilidad posible	Dependencia que debe comprobarse
MMR a edificio	Entregar accesos hacia una distribución local.	Troncal, entrada y distribuidor del edificio.
MMR a MMR	Extender un punto de interconexión.	Equipo o sala donde realmente nace el servicio.
Edificio a edificio	Conectar plataformas o distribuir capacidad.	Recorrido de campus y elementos compartidos.
Dos dominios alternativos	Conservar una entrega ante una pérdida definida.	Separación y capacidad durante la contingencia.

21.3 Seguir el recorrido físico y los soportes

Montaje o lámina de apoyo: figura M.8. La leyenda conserva el alcance y las comprobaciones del ejemplo.

La revisión debe incluir galerías, ductos, cámaras, puentes interiores y penetraciones. Dos troncales con extremos diferentes pueden atravesar un único punto vulnerable. El análisis SRLG del capítulo 16 se prolongará dentro del campus y relacionará cada recurso común con los circuitos que dependen de él.

RFC 4202 relaciona grupos de enlaces con recursos de riesgo compartido. Aplicamos esa idea al inventario del campus, conservando además dependencias de salas y suministros en el registro de riesgos. El alcance de cada grupo debe estar descrito para que un identificador no sustituya la explicación del recurso común. [114]

El recorrido debe permitir instalación y reparación. Registramos puntos de acceso, reservas y limitaciones de trabajo. Las obras futuras se superpondrán al trazado vigente para evitar que una ampliación del edificio obligue a trasladar simultáneamente ambos dominios o bloquee el acceso a sus cámaras.

21.4 Dimensionar fibras y conexiones por segmento

El cálculo partirá de servicios y interfaces. Para una aplicación dúplex con una fibra por sentido se necesitan dos fibras por enlace; otras aplicaciones utilizan una sola fibra bidireccional o conjuntos paralelos. La matriz debe identificar la unidad antes de convertir cantidades de servicios en demanda de fibras.

La capacidad se evaluará en cada segmento. Una troncal común puede reunir demanda de varios edificios, mientras una derivación atiende solo uno. No debe aplicarse el total del campus a todos los cables ni distribuirse una reserva global sin comprobar dónde estará disponible. Los empalmes y distribuidores también necesitan posiciones suficientes.

Como ejemplo didáctico, una troncal requiere 36 enlaces dúplex de dos fibras, por lo que ocupa 72 fibras. Si debe conservarse libre el 25 % de la capacidad instalada, se necesitan al menos 96 fibras en ese segmento. El cálculo no incluye otras aplicaciones ni acredita separación; el dominio alternativo requiere su propio dimensionamiento.

21.5 Comprobar el presupuesto del enlace completo

La longitud entre edificios es una parte del canal. Deben añadirse latiguillos, paneles y empalmes hasta las interfaces utilizadas. El diseño conservará pérdida prevista, número de conexiones y márgenes de la aplicación. Una extensión entre MMR puede consumir reserva óptica y añadir puntos de limpieza y administración.

También se comprobarán alcance y compatibilidad de las ópticas. El formato de un módulo o su velocidad comercial no demuestra que funcione sobre cualquier combinación de fibra y conectores. Los equipos deben admitir la interfaz y configuración previstas. El capítulo 29 desarrollará esa relación con mayor detalle.

La aceptación utilizará extremos y referencias que incluyan el alcance contratado. Si primero se recibe la troncal y después se completa el canal del cliente, ambas pruebas se relacionarán con sus configuraciones. Un certificado de la fibra fija no acredita por sí solo el canal final después de añadir conexiones.

21.6 Administrar la interconexión y sus cambios

Cada troncal tendrá propietario, mantenedor y autoridad de cambio. Se identificarán cables, fibras, paneles y circuitos, junto con capacidad activa y reservada. El distribuidor debe permitir consultar desde un circuito sus recursos y desde un cable los servicios afectados por una intervención.

La matriz de permisos debe distinguir acceso a una sala de autorización para conectar dominios. Un técnico puede estar autorizado a instalar un latiguillo y necesitar otra aprobación para modificar una arquitectura protegida. Las órdenes deben informar qué conexiones se añaden y cómo cambia la exposición del servicio.

Los cambios temporales conservarán fecha de inicio, motivo y condición de retorno. Si una reparación utiliza una troncal del otro dominio, el servicio debe registrarse con la protección reducida que conserva. La restauración de tráfico no elimina la necesidad de devolver capacidad y separación al estado comprometido.

21.7 Caso de una extensión que parece redundante

En un campus ficticio, un cliente recibe dos conexiones en MMR B. Una nace en un router de B y la otra llega desde un router de MMR A mediante la troncal entre salas. La auditoría descubre que ambas continúan hacia el edificio por el mismo cable. Dos orígenes de servicio siguen compartiendo una pérdida posible.

El equipo identifica por separado la disponibilidad de los routers y la del acceso al edificio. Para cubrir la pérdida del cable necesita otra ruta y capacidad de entrega. También revisa si la conexión procedente de A atraviesa equipos o paneles comunes antes de llegar al cliente.

La nueva alternativa se caracteriza y se prueba bajo el escenario acordado. El expediente conserva los recursos que sobreviven y los que siguen siendo comunes. El caso muestra por qué una interconexión entre MMR aporta alcance, pero necesita comprobaciones adicionales para aportar continuidad.

21.8 Preparar la ficha de troncales del campus

1. Relaciones de origen y destino con función de cada enlace.
2. Tramos, recorridos, distribuidores y dominios.
3. Demanda y reserva por segmento y por aplicación.
4. Presupuesto óptico y compatibilidad de interfaces.
5. Responsables, accesos y autoridad de cambio.
6. Pruebas, planos ejecutados y restricciones de contingencia.

Entrega del capítulo. Plano de interconexiones con capacidad y dependencias.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué servicios necesitan conectar las MMR entre sí?
2. ¿Dónde nace cada entrega y qué dependencia conserva?
3. ¿La reserva existe en el segmento que la necesita?
4. ¿Qué ocurre si se pierde un distribuidor o un cruce?
5. ¿La aceptación llega hasta los extremos utilizados?

Capítulo 22 Distribución hacia salas blancas

Al terminar este capítulo, el lector podrá Llegar a cada zona de sala blanca con recorridos comprobables.

Términos esenciales. Panel de zona = punto de organización del cableado; canal = recorrido de conexión definido.

La distribución interior transforma la capacidad de las MMR en puntos de conexión utilizables dentro de las salas blancas. Debe coordinar recorridos, áreas atendidas y crecimiento con el edificio que aloja los equipos. El objetivo es poder activar y mantener servicios sin reorganizar de manera improvisada la infraestructura común.

Estudiamos distribución principal, intermedia, horizontal y por zonas, con llegada a suites y jaulas. La arquitectura elegida debe explicar qué función cumple cada nivel y qué problemas resuelve. Las áreas funcionales del cableado y la topología de switches se relacionan, pero no son la misma representación.

22.1 Definir las áreas atendidas

La sala se dividirá en áreas de servicio con una demanda prevista. Se identificarán racks, clientes, crecimiento y requisitos de separación. La zonificación debe ser suficientemente estable para conservar valor cuando cambie el ocupante de un rack. El inventario relacionará las posiciones físicas con sus destinos y recursos.

El distribuidor principal conecta la infraestructura de mayor alcance con las áreas interiores. Los distribuidores intermedios pueden organizar edificios o pisos; la distribución horizontal acerca enlaces a equipos. Una zona puede concentrar terminaciones pasivas para facilitar cambios. Su inclusión debe justificarse por distancias, gestión, interfaces y mantenimiento.

Fluke describe MDA, HDA y EDA como áreas funcionales de la infraestructura de cableado. Utilizamos esa referencia para conciliar planos y nombres, conservando la arquitectura adoptada. Un área funcional puede compartir recinto con otras; su denominación no define automáticamente un dominio independiente de falla. [126] [131]

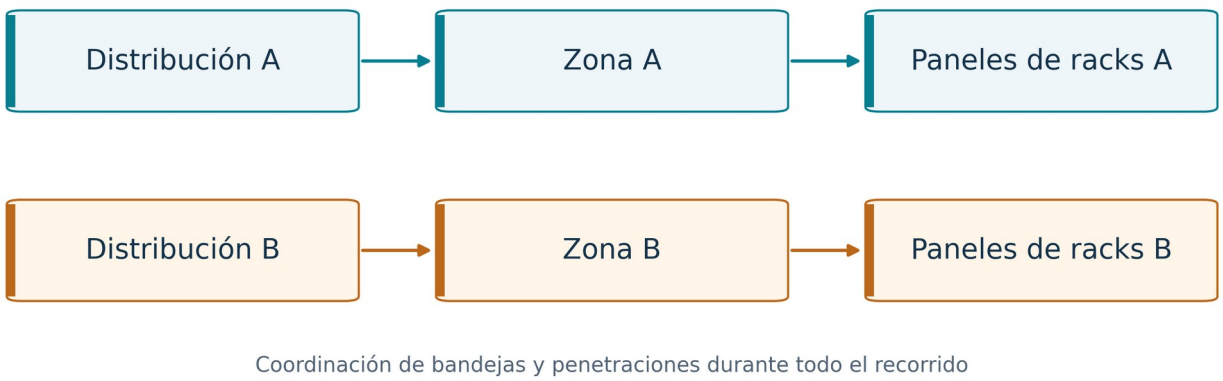


Figura 22.1. Dos distribuciones alternativas sirven zonas de una sala. Los paneles de zona organizan conexiones; no sustituyen los equipos ni garantizan separación por sí solos. Elaboración propia.

22.2 Decidir cuántos niveles necesita la distribución

Una conexión directa desde la distribución principal puede reducir conexiones intermedias y simplificar el presupuesto óptico. También puede aumentar volumen de cable y distancia de cada intervención. Una distribución por zonas acerca la administración a los racks y añade paneles que necesitan identificación, espacio y pruebas.

La selección debe revisar aplicaciones y cambios previsibles. Una zona con interfaces paralelas puede utilizar más fibras por equipo que una zona dúplex. El modelo debe conservar las cantidades y el mapa de fibras. No se elegirá la misma troncal para todas las áreas solo porque tenga un formato de alta densidad.

Las zonas de distintos clientes pueden compartir infraestructura común bajo condiciones definidas. La documentación debe indicar dónde se separan administración, acceso y responsabilidad. El límite de una suite o jaula puede coincidir con una demarcación física, pero el servicio contratado puede comenzar o terminar en otro punto.

Tabla 22.1. Decidir cuántos niveles necesita la distribución

Alternativa	Ventaja que puede aportar	Recurso que debe revisarse
Distribución directa	Menos puntos intermedios de conexión.	Volumen de cables y acceso al distribuidor.
Distribución intermedia	Organización de edificios o pisos.	Dependencia del recinto y sus troncales.
Distribución por zonas	Cambios más próximos a los racks.	Paneles, pérdida adicional y reservas.
Distribución separada A y B	Caminos para escenarios de continuidad.	Separación efectiva y capacidad superviviente.

22.3 Diseñar bandejas ductos y pasos

Cada canalización tendrá función, recorrido y capacidad. La ocupación se calculará con las dimensiones reales de cables y accesorios y con el criterio de llenado adoptado. Una cuenta de fibras no permite estimar directamente el espacio de bandeja: cables con igual cantidad de fibras pueden tener geometrías y condiciones diferentes.

Los cambios de dirección necesitan radios y soporte adecuados. Se comprobarán entradas a paneles, bajadas a racks y cruces con otros sistemas. El límite aplicable debe provenir del producto y del método de instalación. La especificación del cable puede distinguir condiciones durante el tendido y durante la operación. [122]

También se considerarán acceso, extracción y renovación. Un paso aparentemente suficiente puede quedar bloqueado por organizadores o por equipos nuevos. Las reservas de canalización deben identificarse en el plano y protegerse frente a usos que impidan cumplir el crecimiento previsto.

22.4 Coordinar techo piso y otros sistemas

La distribución puede utilizar rutas superiores, inferiores o combinadas. El piso técnico es una opción de arquitectura, no una condición obligatoria de toda sala blanca. La selección depende de

refrigeración, acceso, estructura, seguridad y operación. Cada recorrido debe poder inspeccionarse y mantenerse con los equipos instalados.

Las bandejas superiores deben coordinarse con luminarias, detección, extinción, conductos y elementos estructurales. Se revisarán soportes, cargas y accesos de montaje. El hecho de que una bandeja no esté llena de cables no demuestra que pueda aceptar cualquier carga adicional o una nueva forma de fijación.

Si hay piso técnico, el cableado debe coordinarse con sus funciones y accesos. Se evitarán recorridos que impidan retirar paneles o trabajar sobre infraestructura. El diseño considerará cómo se ejecuta una intervención sin desorganizar cables ajenos ni comprometer el control ambiental de la zona.

22.5 Conservar la separación hasta suites y jaulas

El trazado A/B debe seguirse desde las MMR hasta los paneles de entrega. Los puntos de aproximación se evaluarán contra el escenario requerido. Una sala puede tener dos bandejas y compartir una única bajada antes del rack. Esa convergencia debe mantenerse visible en el registro de riesgos.

La entrada a una jaula necesita reglas sobre penetraciones, identificación y acceso. Los paneles comunes deben poder administrarse sin entrar a espacios privados cuando esa sea la condición operacional prevista. Si una actividad requiere acompañamiento del cliente, debe contemplarse en los plazos de provisión y mantenimiento.

La compartimentación y los sellos se coordinarán con el diseño de protección contra incendios. Cada alta y baja deberá restituir las condiciones aprobadas. El inventario de penetraciones debe relacionar ubicación, sistema de sellado y cambios; una abertura olvidada puede afectar funciones del edificio aunque la conexión de datos funcione.

22.6 Ejemplo de capacidad por zonas

En una sala ficticia hay cuatro zonas de 24 racks. Cada rack necesita dos enlaces dúplex de dos fibras en cada dominio. La demanda de una zona es de 24 por 2 por 2, equivalente a 96 fibras por dominio. Los dos dominios se dimensionan por separado.

Si se exige mantener libre el 25 % de la capacidad instalada, cada troncal de zona necesita al menos 128 fibras. En este caso se elige hipotéticamente una troncal de 144 fibras por zona y dominio. Quedan 48 fibras libres, un 33,3 % de las 144 instaladas. El catálogo y las condiciones del proyecto deben confirmar el producto que se utilice.

Las cuatro zonas suman 576 fibras instaladas por dominio, repartidas entre cuatro troncales de 144. Esa suma no representa un único cable ni demuestra que las reservas puedan intercambiarse entre zonas. También se necesitan posiciones de terminación y canalizaciones para cada troncal, con sus propios límites.

Tabla 22.2. Ejemplo de capacidad por zonas

Recurso del ejemplo	Valor	Alcance de la cantidad
Racks por zona	24	Cuatro zonas en la sala.
Demanda por zona y dominio	96 fibras	Dos enlaces dúplex por rack.
Capacidad elegida por troncal	144 fibras	Una troncal de zona por dominio.

Recurso del ejemplo	Valor	Alcance de la cantidad
Reserva de cada troncal	48 fibras	33,3 % de capacidad instalada.

22.7 Instalar y aceptar con los planos conciliados

La ejecución debe conservar etiquetas, dirección de instalación, reservas y mapas de fibras. Las modificaciones se registrarán antes de cerrar pasos o terminar conexiones. El plano conforme a obra debe representar las bandejas y cables realmente instalados y las relaciones con distribuidores y áreas atendidas.

La aceptación verificará soporte, organización, accesibilidad, identificación y pruebas del cableado. Los ensayos se delimitarán por extremos y componentes. Una troncal certificada puede necesitar otra comprobación cuando se completa un canal con latiguillos y conexiones de zona. El acta debe indicar qué configuración se recibió.

En un caso ficticio, una ampliación reutiliza una bandeja reservada para el dominio B con cables de A. El inventario registra capacidad suficiente, pero el escenario de mantenimiento deja de conservar la separación requerida. La corrección debe revisar recorrido y operación, además de actualizar las cantidades.

22.8 Preparar la ficha de distribución interior

1. Áreas, suites, jaulas y racks atendidos.
2. Distribuidores y función de cada nivel.
3. Troncales y capacidad por zona y dominio.
4. Bandejas, soportes, penetraciones y reservas.
5. Coordinación con estructura, ambiente y protección contra incendios.
6. As built, pruebas, restricciones y condiciones de ampliación.

Entrega del capítulo. Mapa de distribución con extremos y alcance de aceptación.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué función añade cada nivel de distribución?
2. ¿La reserva está disponible en la zona que crecerá?
3. ¿Los recorridos A y B convergen antes del cliente?
4. ¿Puede mantenerse la infraestructura con la sala ocupada?
5. ¿Qué componentes cubre la aceptación del cableado?

Capítulo 23 Llegada al rack y puertos de entrega

Al terminar este capítulo, el lector podrá Identificar toda la cadena de puertos hasta el equipo del rack.

Términos esenciales. Latiguillo = tramo flexible de conexión; demarcación = límite físico o de servicio acordado.

La conectividad se entrega en un punto concreto: una posición de panel, un conector o una interfaz de equipo. Para que ese punto sea utilizable, el último tramo debe conservar identidad, compatibilidad y acceso de mantenimiento. El nombre del rack no basta para describir lo que recibe el cliente.

Seguimos paneles, organizadores y latiguillos hasta los puertos de entrega. Revisamos dominios A y B, reservas y demarcaciones. La decisión central es poder conectar, probar y mantener una interfaz identificada sin intervenir por error otra conexión o consumir un recurso que estaba comprometido para crecimiento.

23.1 Fijar el punto exacto de entrega

Montaje o lámina de apoyo: figura M.10. La leyenda conserva el alcance y las comprobaciones del ejemplo.

La ficha indicará campus, edificio, sala, jaula, rack, panel y puerto. Añadirá tipo de medio, conector y unidad de posición. Un puerto puede significar una fibra, un par dúplex o una interfaz multifibra; la documentación debe evitar que la misma palabra represente cantidades distintas.

La demarcación física debe relacionarse con la contractual y la del servicio. El operador puede entregar cableado hasta un panel mientras el carrier entrega Ethernet en un equipo. Debe aclararse quién aporta el latiguillo que los une y quién acepta el canal completo. Los extremos de las pruebas seguirán esos límites.

Equinix publica condiciones para presentar demarcaciones compatibles con su modelo de terminación de cross connects. Es un ejemplo de por qué cada campus necesita reglas de entrega y componentes identificados. Sus condiciones particulares deben leerse para el centro y el servicio correspondiente, sin generalizarlas a todos los operadores. [130]

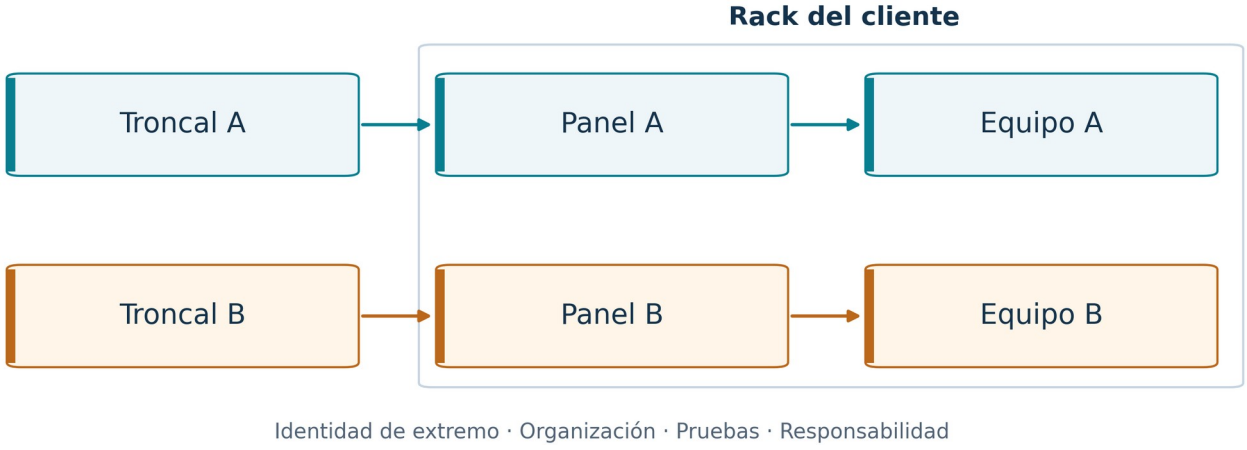


Figura 23.1. Dos llegadas a un rack conservan panel, recorrido y equipo de destino identificados. Las letras A y B designan dominios del ejemplo; no indican los extremos de una orden de conexión. Elaboración propia.

23.2 Ubicar paneles y organizadores con acceso real

El panel debe estar situado donde sus conectores puedan inspeccionarse, limpiarse y desconectarse sin tirar de cables ajenos. Se comprobarán puertas, profundidad, bandejas extraíbles y acceso posterior cuando corresponda. La densidad nominal del fabricante debe transformarse en una disposición mantenible para la ocupación prevista.

Los organizadores horizontales y verticales deben conducir el cable sin exceder límites de curvatura ni formar puntos de presión. Las reservas se alojarán en elementos previstos para ello. Un exceso de longitud puede bloquear acceso, mientras una longitud insuficiente puede tensionar conectores al abrir una bandeja.

El diseño debe coordinar el cableado con ventilación, alimentación y extracción de equipos. Las conexiones de datos no deben impedir reemplazar una fuente o un ventilador según el procedimiento del equipo. Se verificará el espacio con modelos reales y con la dirección de circulación de aire admitida.

23.3 Conservar rutas A y B hasta los puertos

Las rutas alternativas deben permanecer identificadas en las bajadas y dentro del rack. Dos troncales separadas pueden terminar en un único panel cuya intervención afecte a ambas. El proyecto debe decidir si ese punto común es admisible frente a los escenarios de mantenimiento y falla que se comprometen.

La separación necesita continuar hacia los equipos que implementan la continuidad. Si ambos enlaces llegan a una NIC, un switch o una fuente común, el servicio conserva esa dependencia. La ficha del rack debe mostrar tanto la ruta del cable como el extremo activo y sus suministros.

La protección también puede estar en la aplicación. Un cliente con dos servidores y conexiones independientes necesita comprobar cómo se reparte o recupera la carga. El cableado proporciona recursos físicos; el comportamiento de la plataforma exige configuración y pruebas de las capas superiores.

Tabla 23.1. Conservar rutas A y B hasta los puertos

Elemento	Dato mínimo	Comprobación en la entrega
Panel	Identidad, medio, posición y conector.	Correspondencia con el inventario.
Latiguillo	Tipo, longitud, extremos y características.	Compatibilidad, inspección y recorrido.
Ruta A o B	Cable, bajada y elementos comunes.	Separación según el escenario.
Equipo de destino	Interfaz, propietario y alimentación.	Servicio y responsabilidad definidos.

23.4 Seleccionar latiguillos y mantener compatibilidad

Se comprobarán tipo de fibra o cobre, categoría cuando corresponda, conectores, pulido, polaridad y aplicación. Un adaptador físico no convierte una interfaz óptica en otra. Los componentes deben pertenecer a una solución compatible con longitud, pérdida y condiciones de operación previstas.

En fibra, la pareja transmisión–recepción debe corresponder a la arquitectura dúplex, bidireccional o paralela utilizada. Los latiguillos y casetes pueden cambiar el mapa de fibras. La orden debe especificar qué conexión espera cada puerto, especialmente cuando la alta densidad impide reconocerla por observación rápida.

La longitud se seleccionará según el recorrido de organización. Deben evitarse tensión y reservas sin control. El límite de radio y tracción se tomará de las especificaciones del producto; una fibra con mejor comportamiento frente a curvaturas sigue necesitando un cable y un montaje adecuados.

23.5 Dimensionar posiciones de entrega y reservas

La capacidad del rack debe distinguir posiciones instaladas, activas, reservadas y no utilizables. Un panel vacío puede estar comprometido para un pedido. La reserva de crecimiento necesita un horizonte y un responsable; su consumo debe activar una revisión antes de bloquear el siguiente servicio.

En un ejemplo ficticio se requieren 18 conexiones dúplex por dominio y se instalan paneles de 24 posiciones dúplex para A y B por separado. Cada panel conserva seis posiciones libres, un 25 % de su capacidad instalada. Las 48 posiciones totales no son 48 conexiones independientes vendibles si la arquitectura protege 18 servicios con dos dominios.

El cálculo debe añadirse a unidades de rack, organizadores, fibras de troncal y canalizaciones. Puede haber puertos libres sin fibras disponibles hacia la MMR. El inventario debe relacionar esas restricciones para que la oferta comercial describa conexiones que puedan completarse.

23.6 Instalar y comprobar la identidad del enlace

La orden identificará ambos extremos, autorización y recorrido. Antes de conectar se verificará que las posiciones coinciden con el registro y que los componentes están en condiciones adecuadas. La etiqueta del latiguillo debe permitir reconocer su relación con el circuito sin sustituir el registro de extremos.

Se comprobarán identidad, continuidad y polaridad, además de las pruebas de pérdida o certificación que correspondan al alcance. La preparación de referencias y accesorios se describirá en los capítulos de medición. El archivo debe conservar el identificador del enlace, la configuración y el resultado de cada fibra incluida.

La entrega del cableado y la activación del servicio deben registrarse por separado cuando sean etapas distintas. Una interfaz puede presentar luz sin que el perfil Ethernet o IP esté habilitado. El responsable debe conocer qué prueba falta para declarar disponible el servicio que recibirá el cliente.

23.7 Mantener el rack y resolver discrepancias

Las intervenciones deben partir del inventario vigente. Si una etiqueta no coincide con el registro, se detendrá la actividad afectada y se resolverá la identidad antes de desconectar. La continuidad de otro servicio no debe utilizarse como método de identificación por ensayo y error.

En un caso ficticio, el cliente recibe potencia óptica en dos puertos, pero el enlace dúplex no levanta. La revisión descubre que una modificación de casete alteró la polaridad esperada. El diagnóstico comprueba el mapa de fibras y corrige la conexión autorizada; aumentar potencia no resuelve la correspondencia entre transmisión y recepción.

Después de corregir se repiten las comprobaciones afectadas y se actualiza el inventario. La baja de un servicio también necesita liberar o retirar componentes con autorización y mantener protección de puertos. El orden del rack debe permitir que una nueva intervención comience con información reconstruible.

23.8 Preparar la ficha del punto de entrega

1. Ubicación completa y extremo de demarcación.
2. Puerto, unidad, medio y características de conexión.
3. Cable, latiguillo y recorrido autorizado.
4. Dominio A o B y equipo de destino.
5. Capacidad activa, comprometida y reservada.
6. Pruebas, acta, pendientes y autoridad de cambio.

23.9 Seguir una orden hasta el puerto de entrega

XC-A-0001 identifica una conexión del ODF de Alfa hacia el punto cliente del dominio A. El mapa conserva edificio, sala, rack, panel y posición de cada extremo, además de las fibras de troncal. La orden indica qué elemento se instala, qué recurso ya existe y quién autoriza la conexión. El instalador debe poder comprobar ambos extremos antes de intervenir.

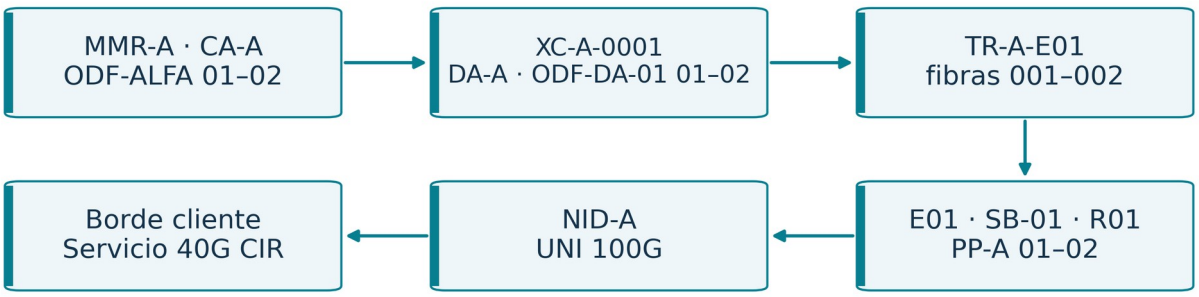


Figura 23.2. Cadena de puertos del acceso A. Las posiciones son ejemplos del inventario ficticio, no instrucciones sobre una instalación real. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

En la entrega se verifican identidad, polaridad, condición de caras y pruebas del canal definido. La presencia de potencia no declara activado el CIR de 40 Gb/s: el perfil y sus prestaciones se evalúan después entre las UNI. El expediente vincula ambas etapas para que una incidencia pueda seguirse desde el servicio hasta el recurso físico.

Entrega del capítulo. Orden de conexión con puertos fibras y equipo final.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué incluye exactamente el punto de entrega?
2. ¿Puede mantenerse el panel con el rack ocupado?
3. ¿Las rutas alternativas terminan en equipos y suministros coherentes?
4. ¿La reserva existe también en la troncal?
5. ¿El acta diferencia cableado instalado y servicio activado?

Parte 5 Cableado y cross connects

El cableado transforma el recorrido en conexiones administrables. Se estudian medios, conectores, órdenes, inventarios y cambios sobre infraestructura en servicio.

Capítulo 24 Selección de fibras y cableado de cobre

Al terminar este capítulo, el lector podrá Elegir medios por aplicación recorrido y mantenimiento.

Términos esenciales. Monomodo = familia de fibra con un modo espacial en su rango; DAC = cable de cobre de conexión directa.

La selección del medio comienza por la aplicación que debe funcionar, la distancia efectiva y el entorno de instalación. Monomodo, multimodo y cobre tienen usos válidos cuando sus límites se comprueban sobre el canal y los equipos previstos. Elegir únicamente por velocidad o por precio del cable deja sin resolver parte de la ingeniería.

Comparamos medios, categorías, condiciones mecánicas y alcance de certificación. La salida será una especificación que relacione cada tramo con sus interfaces actuales y futuras. El lector deberá distinguir la capacidad del medio de la compatibilidad de un transceptor y del desempeño entregado al cliente.

24.1 Definir aplicación longitud y entorno

La ficha inicial indicará protocolo, velocidad por interfaz, cantidad de fibras o pares, longitud de recorrido y puntos de conexión. También incluirá condiciones ambientales, exposición y método de instalación. La distancia debe contemplar organización y reservas, además de la separación entre racks o edificios.

El horizonte de crecimiento debe expresarse mediante aplicaciones concretas. Preparar una evolución de interfaces requiere conocer qué fibras, conectores y presupuesto necesitarán. La expresión preparado para el futuro debe reemplazarse por una relación verificable entre infraestructura instalada y aplicaciones previstas.

Se revisarán operación y mantenimiento: disponibilidad de instrumentos, repuestos, conocimientos y compatibilidad con otras áreas del campus. Una solución eficiente para un enlace aislado puede aumentar complejidad si introduce componentes difíciles de reemplazar. La decisión debe considerar el ciclo de vida del sistema completo.

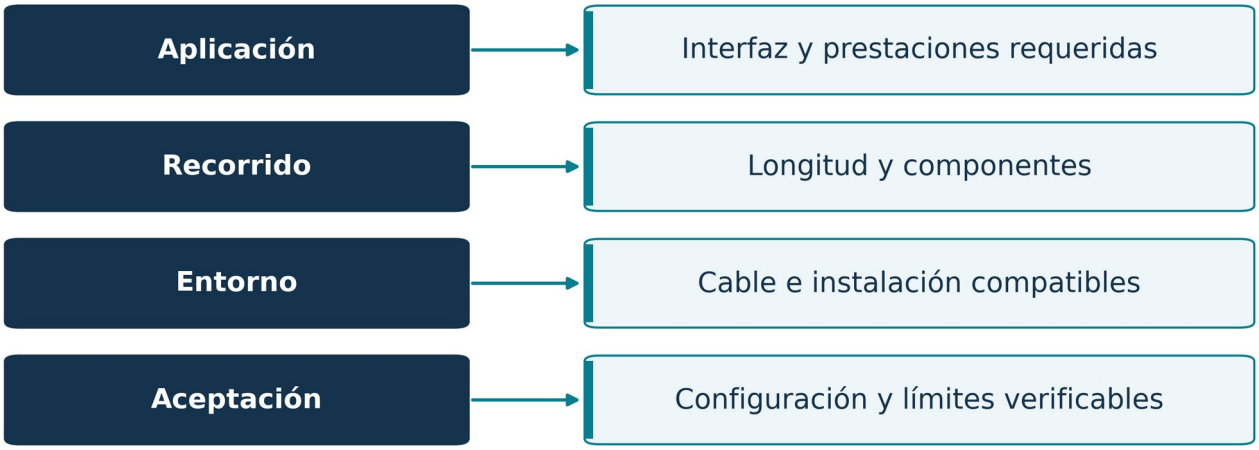


Figura 24.1. La elección del medio relaciona aplicación, recorrido, entorno y aceptación. Las familias de cable deben comprobarse con las interfaces y condiciones previstas. Elaboración propia.

24.2 Comprender la función de la fibra monomodo

La fibra monomodo permite aplicaciones ópticas de campus, transporte y alta capacidad con interfaces apropiadas. Debe identificarse la especificación de fibra y la categoría del cableado, además del producto concreto. Una denominación de cableado y una recomendación sobre atributos de fibra describen niveles diferentes de la solución.

UIT-T G.652 define atributos geométricos, mecánicos y de transmisión de una familia monomodo. G.657 se centra en fibras con menor sensibilidad a pérdidas por curvatura. Sus ediciones de agosto de 2024 constan como vigentes en los catálogos consultados. La selección debe utilizar la variante y las condiciones que realmente correspondan. [132, 133]

La menor sensibilidad a curvaturas de una fibra no elimina límites de tracción, aplastamiento y radio del cable. Tampoco sustituye compatibilidad de empalmes, conectores y ópticas. El presupuesto debe utilizar las características del enlace instalado y contemplar su modificación por conexiones, reparaciones o ampliaciones.

24.3 Elegir multimodo por aplicación comprobada

En multimodo se propagan varios modos y las condiciones de lanzamiento y dispersión modal influyen en el alcance. Las categorías OM identifican prestaciones de la fibra para aplicaciones definidas. El diseño debe conciliar categoría, longitud de onda, alcance e interfaz; no basta con reconocer el color de una cubierta.

Las alternativas de mayor ancho de banda modal o de operación en varias longitudes de onda deben evaluarse con la tecnología que vaya a utilizarlas. Una mejora de categoría no modifica por sí sola el número de fibras del transceptor ni el mapa de un canal paralelo. La compatibilidad debe demostrarse para ambos extremos.

Se revisará la infraestructura existente antes de reutilizarla. La documentación y la certificación deben acreditar tipo, longitud y estado del canal. Una medición de pérdida favorable no describe por sí sola todas las prestaciones de dispersión que necesita una aplicación multimodo.

Tabla 24.1. Elegir multimodo por aplicación comprobada

Medio	Comprobaciones de selección	Límite que no debe suponerse
Monomodo	Fibra, interfaz, longitud de onda y presupuesto.	Que toda óptica monomodo tenga el mismo alcance.
Multimodo	Categoría, alcance, lanzamiento y aplicación.	Que menor pérdida elimine límites modales.
Cobre balanceado	Categoría, canal, ambiente y equipos.	Que todo puerto con el mismo conector admita igual distancia.
Cable directo de equipo	Compatibilidad, longitud y acceso de sustitución.	Que sea equivalente a una infraestructura estructurada permanente.

24.4 Precisar la selección de cobre

La categoría y la clase de desempeño deben corresponder a la aplicación y al alcance del cableado. También se revisarán conectores, latiguillos, temperatura, agrupamiento y condiciones electromagnéticas. La especificación debe identificar el sistema completo que se certificará y las reglas de instalación que permiten conservar sus prestaciones.

Como ejemplo de límite del equipo, Cisco especifica para el SFP-10G-T-X hasta 30 m a 10 Gb/s sobre las categorías indicadas, y otra distancia a tasas inferiores. El ejemplo demuestra que un canal potencialmente más largo puede quedar limitado por el transceptor utilizado. Deben comprobarse la ficha y la plataforma compatibles. [134]

La alimentación sobre pares, cuando exista, añade condiciones sobre corriente, agrupamiento y disipación que deben revisarse con el diseño y la aplicación. Las conexiones de datos de una MMR o de un rack no deben asumirse aptas para cualquier esquema de alimentación por compartir un formato de conector.

24.5 Separar enlace permanente y canal

El enlace permanente representa la parte fija y los elementos definidos por el método de certificación. El canal incluye los componentes de conexión que participan en la utilización final según su modelo. La selección de adaptadores de prueba y límites debe corresponder a la configuración que se acepta.

Fluke distingue la certificación de la parte fija del cableado respecto del uso de adaptadores de canal. La elección del método determina qué se mide y cómo se aplica el límite. El acta debe identificar el alcance; un resultado de una configuración no debe trasladarse automáticamente a otra. [135]

En fibra también es necesario dibujar los componentes incluidos y excluidos. Los latiguillos de prueba y los de operación pueden cambiar las conexiones que participan en la medida. Los capítulos 39 a 48 desarrollarán referencias, montajes y evidencia para evitar que un aprobado se atribuya a un canal distinto.

24.6 Especificar cable e instalación

El cable debe corresponder a interior, exterior o transición prevista, con propiedades ambientales y de reacción al fuego aplicables al proyecto. Se revisarán resistencia mecánica, protección frente a

humedad y compatibilidad con canalizaciones. La especificación no debe deducirse solamente del tipo de fibra que contiene.

La ingeniería debe verificar diámetro, peso, radios, tracción y accesorios. También debe prever terminaciones, reservas y reposición. Un cable de gran capacidad puede necesitar otras bandejas y herramientas y modificar el tiempo de intervención. El costo comparado debe incluir esos recursos y las pruebas de recepción.

Las compras deben conservar referencias de fabricante, ficha, lote y condiciones de aceptación. Un sustituto propuesto debe revisarse contra los requisitos originales y sus interfaces. La equivalencia comercial necesita una comprobación técnica antes de incorporarse a un canal en producción.

24.7 Caso de cable adecuado y interfaz incompatible

En un caso ficticio, un enlace de cobre fijo tiene documentación suficiente para la aplicación prevista, pero se conecta mediante un módulo cuyo alcance es menor que la longitud del canal. El problema no se resuelve cambiando la etiqueta de categoría ni aceptando una prueba de continuidad.

El equipo reconstruye longitud, latiguillos, aplicación y compatibilidad de la plataforma. Compara otra interfaz admitida, una conexión óptica o una reducción de recorrido. La selección final necesita conservar el alcance requerido y condiciones de mantenimiento, además de superar las pruebas correspondientes.

Después se actualizan especificación, inventario y método de aceptación. El caso muestra que medio, canal y transceptor forman una cadena de compatibilidad. La conformidad de un componente no garantiza por sí sola el funcionamiento de la aplicación completa.

24.8 Preparar la ficha de selección del medio

1. Aplicaciones actuales y previstas con sus interfaces.
2. Longitud y componentes del canal.
3. Especificación de fibra o categoría del cobre.
4. Cable, entorno y método de instalación.
5. Compatibilidad de equipos y accesorios.
6. Método de certificación, límites y evidencia de recepción.

Entrega del capítulo. Ficha de selección con compatibilidad presupuesto y pruebas.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué aplicación justifica la selección del medio?
2. ¿La longitud incluye todos los componentes del canal?
3. ¿El equipo admite la distancia y el cableado previstos?
4. ¿Qué parte de la instalación se certificará?
5. ¿Una sustitución conserva las condiciones técnicas y operativas?

Capítulo 25 Conectores y sistemas de alta densidad

Al terminar este capítulo, el lector podrá Comprobar correspondencia y compatibilidad de conectores multifibra.

Términos esenciales. Polaridad = correspondencia entre posiciones; carril = vía paralela de una interfaz.

La alta densidad reduce el espacio necesario para conectar muchas fibras y exige mayor precisión al identificar cada camino óptico. El sistema debe conservar alineación, limpieza, polaridad y presupuesto de pérdidas. Elegir un conector por su tamaño deja sin resolver cómo se conecta la transmisión con el receptor correcto.

Revisamos conectores individuales y multifibra, casetes, troncales y empalmes. La decisión es seleccionar una solución mantenible y comprobar su mapa completo. Un canal puede tener continuidad y potencia y seguir siendo incorrecto para la interfaz que debe utilizarlo.

25.1 Relacionar conector, adaptador y terminación

El conector mantiene la fibra alineada mediante una interfaz mecánica y óptica definida. El adaptador acopla interfaces compatibles; no convierte el tipo de fibra ni modifica por sí solo su aplicación. Deben comprobarse formato, pulido y condiciones de contacto, junto con los accesorios utilizados.

LC y SC organizan conexiones de una fibra por posición óptica, que pueden agruparse en formatos dúplex. El panel debe identificar la unidad que cuenta y cómo se relaciona con fibras y servicios. La semejanza visual entre conectores no acredita compatibilidad de sus superficies ni del resto del canal.

La terminación puede realizarse mediante empalme y pigtail o mediante conjuntos preterminados, entre otras soluciones. Cada opción implica fabricación, instalación y reparación diferentes. La aceptación debe incluir los componentes que realmente se incorporan y conservar la relación entre fibras de cable y posiciones de panel.

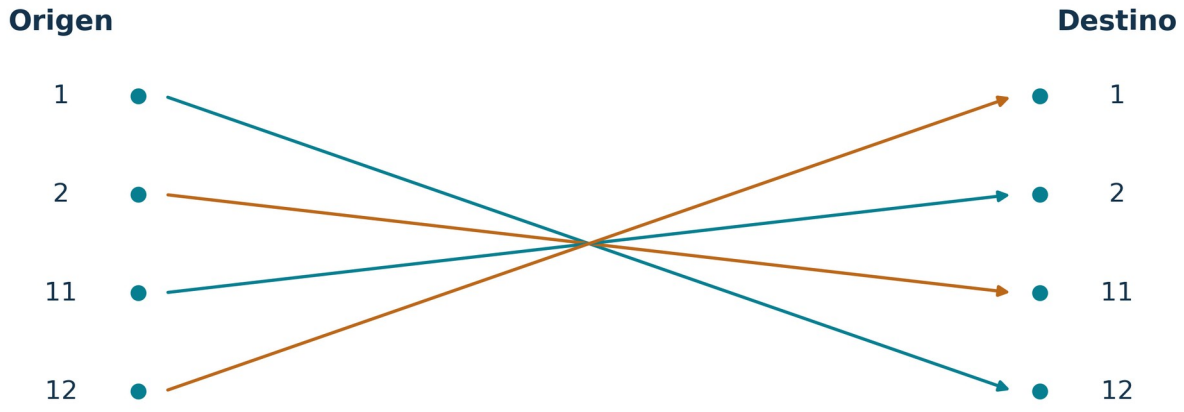


Figura 25.1. Ejemplo parcial del mapa de una troncal tipo B de doce fibras. Se muestran cuatro posiciones; el mapa completo debe verificarse sobre la solución instalada. Elaboración propia a partir de la correspondencia descrita por Fluke Networks.

25.2 Entender qué añade un conector MPO

Montaje o lámina de apoyo: figura M.5; figura M.6. La leyenda conserva el alcance y las comprobaciones del ejemplo.

MPO reúne varias fibras en una interfaz. Deben identificarse cantidad de posiciones, fibras utilizadas, orientación y elementos de alineación. Fluke distingue conectores con pines y sin pines y explica que la combinación correcta es necesaria para su acoplamiento. Las interfaces y accesorios deben comprobarse antes de intentar unirlos. [136]

El número de fibras activas de una aplicación puede ser menor que las posiciones de la interfaz. Esas posiciones sin utilizar deben conservarse en el mapa para evitar desplazamientos al cambiar un componente. No se trasladará una receta de doce fibras a otra geometría sin verificar orientación, numeración y compatibilidad.

La marca de una variante comercial no sustituye la especificación. El expediente debe conservar referencias y prestaciones de la solución, incluidos adaptadores, casetes y latiguillos. Los repuestos deben mantener las características necesarias para funcionar como parte del canal previsto.

25.3 Distinguir tipo de cable y método de polaridad

El mapa de una troncal describe cómo se relacionan sus posiciones. El método de polaridad del sistema incluye además adaptadores, casetes y latiguillos hasta los transceptores. Un tipo de cable puede formar parte de distintas configuraciones; el resultado que importa es la correspondencia final entre transmisión y recepción.

En un ejemplo de doce fibras, el tipo A mantiene posiciones, el B invierte su orden y el C intercambia pares. Fluke describe esas correspondencias y la necesidad de elegir los componentes del método completo. El ejemplo sirve para leer mapas; no prescribe una combinación universal para cualquier óptica paralela. [136]

La inspección visual de llaves y colores debe complementarse con comprobación del mapa. Un casete puede introducir una transformación que no sea evidente desde el frontal. La aceptación conservará resultados por posición y ambos extremos, junto con las referencias de todos los componentes que definen la polaridad.

Tabla 25.1. Distinguir tipo de cable y método de polaridad

Posición de origen en doce fibras	Tipo A	Tipo B
1	1	12
2	2	11
11	11	2
12	12	1

25.4 Diseñar aplicaciones dúplex y paralelas

En una aplicación dúplex tradicional, una fibra transmite y otra recibe. El canal debe llevar cada transmisor al receptor correspondiente. En interfaces paralelas participan varios carriles ópticos y

deben respetarse posiciones y sentidos. La velocidad nominal no permite deducir por sí sola la geometría de la conexión.

Algunas interfaces reúnen varias longitudes de onda sobre una pareja de fibras y otras utilizan varias fibras en paralelo. Una operación de breakout también necesita soporte de puertos y configuración del equipo. El mapa pasivo y el modo de la interfaz deben revisarse juntos antes de comprar o migrar componentes.

La conversión de una troncal de alta densidad a conexiones dúplex requiere verificar qué fibras asigna cada casete. Si el futuro cambio necesita otras posiciones, puede exigir reemplazo de casetes o latiguillos. La reserva debe describirse mediante aplicaciones y componentes, no solamente mediante fibras sobrantes.

25.5 Controlar pérdida y reflectancia de conexiones

Cada conexión añade un comportamiento óptico que debe incluirse en el presupuesto. Los valores de diseño deben corresponder a los productos y a los límites acordados. Sumar capacidades de fibra sin revisar conectores puede producir un canal cuya aplicación disponga de menos margen del esperado.

Se comprobará cada fibra o carril incluido. Un promedio favorable puede ocultar una posición con pérdida excesiva. Las pruebas deben conservar unidad, longitud de onda, referencia y configuración. La reflectancia y la pérdida de inserción responden preguntas diferentes y se interpretarán con los criterios del sistema.

Las soluciones de baja pérdida necesitan control de instalación y conservación de superficies de contacto. Una especificación de fábrica no demuestra el estado después de tendido, montaje y múltiples intervenciones. Los resultados de recepción deben corresponder a la configuración realmente entregada.

25.6 Inspeccionar, limpiar y volver a comprobar

La limpieza debe formar parte de la preparación de cada interfaz con herramientas y procedimiento compatibles. Después de intervenir se vuelve a inspeccionar, porque la acción de limpieza necesita comprobar su resultado. Los conectores nuevos y las tapas tampoco deben asumirse libres de contaminación.

IEC 61300-3-35:2022 trata observación y clasificación de contaminación, rayas y defectos. Su resumen público aclara que la inspección visual complementa la medición óptica. El proyecto debe definir criterios y procedimiento; una imagen no sustituye pérdida de inserción u otros parámetros que determinen la utilización de la interfaz. [137]

En multifibra se revisará la superficie y las posiciones pertinentes a la solución. La herramienta debe permitir examinar el formato previsto y conservar evidencia identificada. El capítulo 40 desarrollará la verificación inicial y sus límites antes de conectar instrumentos o poner el canal en servicio.

25.7 Caso de una migración con el mapa equivocado

En un caso ficticio, una troncal existente se reutiliza para otra aplicación paralela. La fibra presenta pérdidas aceptables, pero el conjunto de casetes y latiguillos no conecta los carriles a las posiciones esperadas. El equipo observa enlaces parciales y alarmas sin una falla general de continuidad.

La revisión reconstruye el mapa desde cada interfaz y lo compara con los componentes instalados. Corrige los elementos autorizados, comprueba cada posición y repite las pruebas afectadas. La intervención conserva referencias de producto y la configuración de breakout o puerto que finalmente se utiliza.

El expediente separa dos conclusiones: estado óptico del medio y correspondencia correcta para la aplicación. El caso muestra que una prueba de pérdida y una prueba de polaridad son complementarias. Ninguna puede sustituirse por la otra cuando se acepta una solución de alta densidad.

25.8 Preparar la ficha de conectividad de alta densidad

1. Formatos, pulidos y referencias de componentes.
2. Fibras activas y posiciones disponibles.
3. Mapa completo y método de polaridad.
4. Aplicaciones, carriles y configuración de interfaces.
5. Presupuesto y resultados por fibra.
6. Inspección, mantenimiento y repuestos compatibles.

25.9 Comprobar un mapa multifibra completo

El dibujo muestra cuatro posiciones de una correspondencia de doce fibras para enseñar cómo leer una inversión tipo B. La verificación del canal real incluye orientación de las caras, numeración del fabricante, condición con o sin pines, casetes, adaptadores y latiguillos. El nombre del método de polaridad de un elemento no describe automáticamente la transformación de todo el canal.

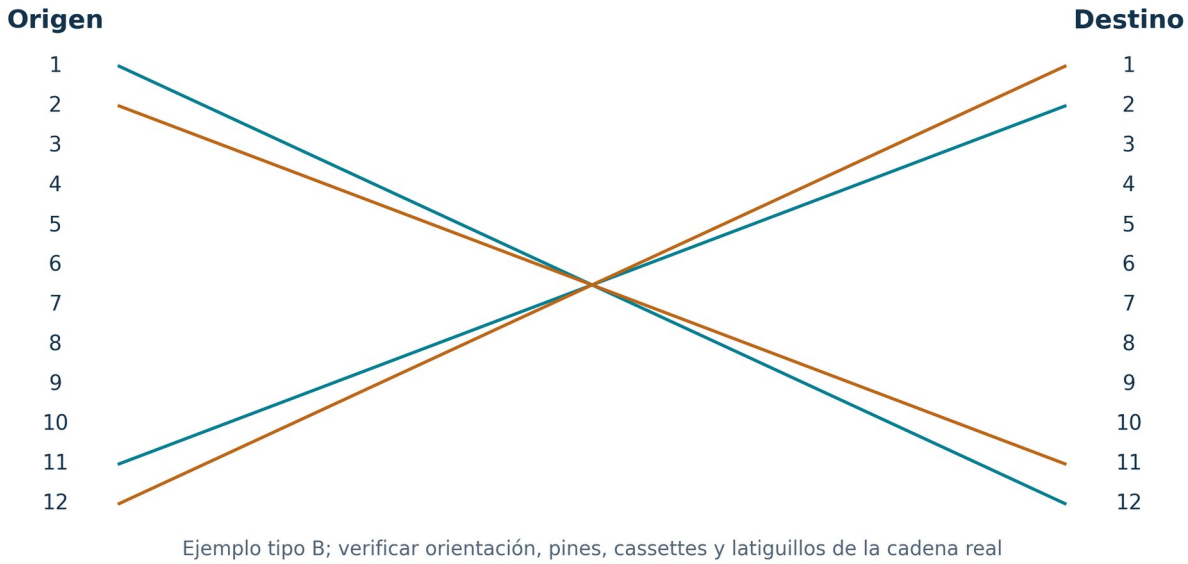


Figura 25.2. Mapa parcial didáctico con inversión de posiciones. No sustituye el mapa completo del conjunto instalado. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

Para una aplicación paralela se marca qué posiciones transmiten, cuáles reciben y cuáles quedan sin usar. Después se prueba la correspondencia extremo a extremo y la pérdida de cada fibra empleada. Una reserva solo es útil si puede formar la aplicación futura junto con interfaces, fibras y posiciones compatibles.

Entrega del capítulo. Mapa completo de posiciones de la aplicación.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿El mapa describe toda la cadena hasta el transceptor?
2. ¿Coinciden cantidad de posiciones y fibras utilizadas?
3. ¿Se verificó la combinación de interfaces con y sin pines?
4. ¿La reserva sirve para la aplicación futura prevista?
5. ¿Se conservaron resultados por posición y configuración?

Capítulo 26 Ciclo de vida de una cross connect

Al terminar este capítulo, el lector podrá Controlar el alta cambio y retiro de una cross connect.

Términos esenciales. Cross connect = conexión entre terminaciones identificadas; orden = instrucción de trabajo autorizada.

Una cross connect une físicamente dos extremos autorizados y forma parte de una entrega que debe poder administrarse durante toda su vida. Su provisión incluye identificación, capacidad, instalación, pruebas y aceptación. El trabajo continúa después de conectar: cambios y retiros también necesitan conservar la correspondencia entre recursos y servicio.

Seguimos conexiones de cliente a carrier, entre clientes y hacia plataformas. Distinguimos una instalación física de una interconexión virtual y de la activación del servicio superior. La decisión es saber qué se entrega, quién autoriza cada extremo y qué evidencia permite cerrar la orden.

26.1 Definir las dos partes y el alcance

Montaje o lámina de apoyo: figura M.7. La leyenda conserva el alcance y las comprobaciones del ejemplo.

La solicitud identificará las organizaciones y los extremos A y Z según la convención del campus. Para cada extremo se registrarán edificio, sala, rack, panel y puerto, además del medio y sus características. Estas letras identifican extremos de una orden; no acreditan dominios de protección A/B.

El recorrido puede incluir cableado previamente instalado y un latiguillo que completa la interconexión. La orden debe distinguir componentes existentes y actividades nuevas. También debe precisar si se entrega en panel o se extiende hasta el equipo del cliente. Una diferencia de pocos metros puede cambiar responsabilidades y pruebas.

La finalidad puede ser recibir un carrier, interconectar dos clientes o acceder a una plataforma. El servicio superior necesita sus propias condiciones de activación. La conexión física conserva una identidad aunque cambie el perfil Ethernet o IP que utiliza, siempre que el diseño y el contrato permitan ese cambio.

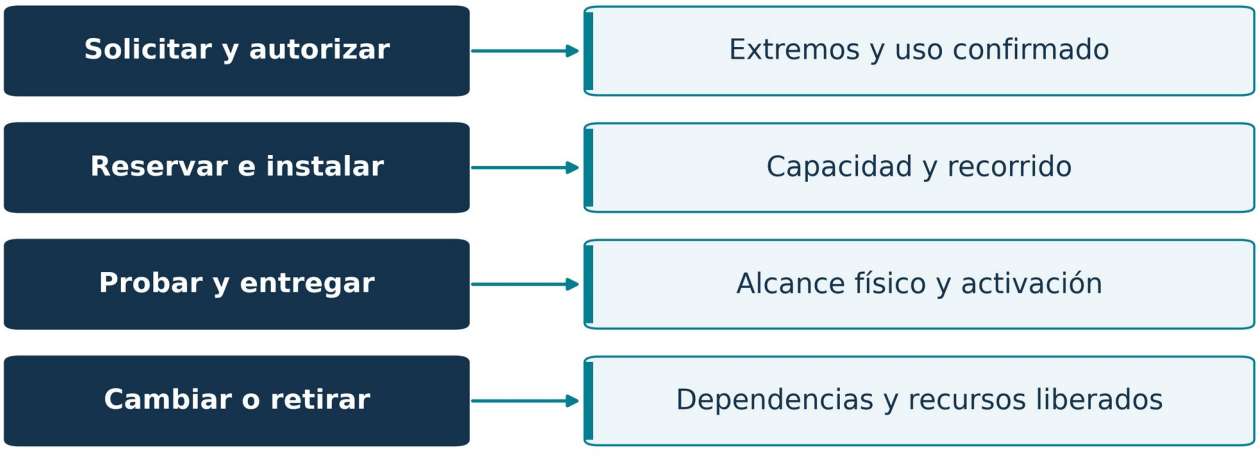


Figura 26.1. Estados del ciclo de una cross connect. La instalación física, la activación del servicio y la liberación posterior son hitos distintos con evidencias propias. Elaboración propia.

26.2 Verificar autorización LOA y CFA

La autorización debe provenir de quien administra el recurso o de un mecanismo acordado que permita comprobar su asignación. La documentación identificará qué puerto puede utilizarse y para qué orden. Una conversación comercial sin datos de extremo no reemplaza la confirmación necesaria para intervenir infraestructura de otra parte.

Equinix describe la LOA como una fuente de información del extremo Z y contempla distintos mecanismos de pedido. La forma de autorización depende del proveedor y de sus productos. Por ello, el libro no trata una carta concreta como requisito universal de todo cross connect. [138]

Cuando se utiliza una asignación de instalación o CFA, debe conciliarse con la autorización y con el inventario. Cboe ofrece un ejemplo de LOA-CFA que identifica jaula, gabinete, panel y pareja de puertos del lado Z. La asignación debe estar vigente y coincidir con la orden que se ejecutará. [139]

26.3 Comprobar factibilidad y reservar recursos

La factibilidad revisará extremos libres y utilizables, continuidad de la troncal, compatibilidad y recorrido. También comprobará acceso, horarios y dependencias de terceros. El plazo comprometido debe comenzar con una definición sobre qué antecedentes y recursos están completos, según el proceso comercial acordado.

Las reservas tendrán identidad, responsable y vigencia. Debe evitarse que un puerto reservado para una solicitud aparezca disponible para otra. Si el pedido cambia de extremo o se cancela, se revisarán todos los recursos asociados antes de liberarlos. La reserva debe poder reconstruirse sin depender de memoria personal.

Una petición de conexión diversa necesita el análisis de recorrido y recursos comunes. Dos órdenes diferentes pueden usar el mismo cable o panel. La aceptación de diversidad debe indicar hasta dónde llega la condición y qué escenarios cubre, además de registrar la existencia de dos conexiones.

Tabla 26.1. Comprobar factibilidad y reservar recursos

Hito	Condición para avanzar	Evidencia mínima
Solicitud	Extremos y alcance identificados.	Orden y datos de contacto.
Autorización	Uso del recurso confirmado.	LOA o mecanismo aplicable y asignación.
Reserva	Capacidad utilizable comprometida.	Puertos, fibras y vigencia.
Instalación	Trabajo ejecutado sobre extremos correctos.	Recorrido y componentes reales.
Entrega	Pruebas del alcance y aceptación.	Resultados, acta y estado final.
Retiro	Baja autorizada y recursos conciliados.	Componentes retirados y capacidad liberada.

26.4 Preparar y ejecutar la instalación

La orden de trabajo incluirá identificación, componentes, recorrido y actividades autorizadas. Se comprobará el estado real antes de desconectar o instalar. Las discrepancias de etiquetas o puertos

deben resolverse antes de continuar en el segmento afectado. Un extremo libre no debe suponerse correcto por su apariencia.

La ejecución conservará radios, organización, identificación y condiciones de los conectores. Se registrarán desvíos respecto del diseño y las aprobaciones que correspondan. Si una alternativa obliga a compartir recursos de una conexión protegida, debe reevaluarse su efecto antes de declarar equivalente el resultado.

Los trabajos sobre servicios existentes necesitan ventana y posibilidad de retorno según su impacto. El personal debe disponer de contacto y escalamiento hacia las dos partes. El cierre de la actividad física debe permitir identificar qué quedó instalado y qué pasos faltan para la activación completa.

26.5 Probar y entregar el alcance físico

Se comprobarán identidad, continuidad, polaridad y pérdida o certificación aplicable. El montaje de prueba debe incluir los componentes que se atribuyen a la entrega. Los resultados se guardarán con identificadores, referencias, longitudes de onda y configuración. Las pruebas de una troncal anterior conservarán su propio alcance.

La entrega debe informar extremos y demarcaciones reales, recorrido, fecha y restricciones. También debe indicar si se conectó al equipo o quedó presentado en panel. El cliente necesita distinguir lo que puede utilizar inmediatamente y lo que depende de otra orden o de configuración del carrier.

Si el servicio requiere pruebas Ethernet, IP o de aplicación, se coordinarán como una etapa adicional. La presencia de potencia óptica o de enlace físico no acredita todos esos compromisos. La aceptación debe conservar la relación entre la conexión y los resultados de la prestación superior.

26.6 Distinguir interconexión física y virtual

Una interconexión virtual establece una relación lógica mediante una plataforma y necesita infraestructura física que la sostenga. Puede compartir puertos y capacidad con otros servicios. La orden debe identificar el recurso físico, el identificador lógico, el perfil y la demarcación de cada parte.

La modificación de un circuito virtual no exige siempre cambiar el cableado, pero sí revisar capacidad y configuración. De igual manera, retirar una cross connect física puede afectar varios servicios lógicos. El inventario debe representar esa relación de uno a varios antes de autorizar una baja.

La diversidad lógica no demuestra separación física. Dos circuitos virtuales pueden atravesar el mismo puerto, equipo o troncal. El expediente de continuidad debe identificar esas dependencias y comprobar la capacidad superviviente del servicio que realmente utilizará el cliente.

26.7 Gestionar cambios y retiros con trazabilidad

Una modificación conservará vínculo con la conexión anterior y con los servicios afectados. Deben actualizarse etiquetas, pruebas y registros de las dos partes. El historial permitirá reconstruir qué extremo estuvo activo en cada periodo, especialmente cuando el cambio responde a una incidencia o ampliación.

La baja necesita autorización, comprobación de servicios dependientes y asignación de actividades. Retirar un latiguillo puede liberar posiciones de panel y dejar otras fibras reservadas o utilizadas. La liberación comercial debe basarse en el estado conciliado, no en el simple cierre de una solicitud.

En un caso ficticio, se retira una conexión física que sostiene dos circuitos virtuales porque solo uno aparece en la orden de baja. El incidente se resuelve restituyendo el recurso y conciliando el segundo servicio. La mejora consiste en verificar dependencias antes del retiro y mantener el inventario completo.

26.8 Preparar el expediente de la cross connect

1. Organizaciones, extremos y servicio relacionado.
2. Autorización y asignación vigentes.
3. Recursos reservados y recorrido efectivo.
4. Orden de instalación y componentes.
5. Pruebas, demarcaciones y aceptación.
6. Historial de cambios, dependencias y baja.

Entrega del capítulo. Registro de estados desde reserva hasta liberación.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Quién autoriza el uso de cada extremo?
2. ¿La reserva evita una segunda asignación del mismo puerto?
3. ¿Qué incluye la prueba de entrega?
4. ¿La instalación física y la activación tienen estados distintos?
5. ¿Qué servicios dependen del recurso antes de retirarlo?

Capítulo 27 Administración de fibras y puertos

Al terminar este capítulo, el lector podrá Mantener identidad y ocupación de fibras y puertos.

Términos esenciales. Inventario = representación controlada de recursos; reserva = asignación aún no consumida.

La administración de fibras y puertos permite convertir infraestructura instalada en conexiones que puedan pedirse, mantenerse y retirarse con certeza. El registro debe relacionar objetos físicos, servicios y responsabilidades. Un listado de puertos libres pierde valor si no permite saber a qué fibras llegan o qué reserva comercial los compromete.

Construimos un modelo de identidad, relaciones y estados. El objetivo es consultar el recorrido de un servicio y la afectación de una intervención sin reconstruir la instalación por memoria. La herramienta puede variar; la calidad depende de que sus datos representen el estado real y conserven evidencia e historial.

27.1 Distinguir los objetos que se administran

El inventario separará cable, fibra, empalme, panel, puerto, latiguillo, interfaz de equipo, circuito y servicio. Cada objeto tendrá identidad propia y relaciones explícitas. Un cable puede contener muchas fibras; un circuito puede atravesar varios cables y paneles; un servicio puede utilizar más de un circuito.

También se registrarán edificios, salas, racks, recorridos y propietarios. Esa jerarquía permite ubicar los activos, pero no reemplaza sus conexiones. Dos puertos contiguos pueden pertenecer a dominios diferentes. El modelo debe conservar ubicación y conectividad como relaciones que puedan consultarse por separado.

NetBox representa conexiones mediante cables entre conjuntos de extremos y diferencia interfaces, puertos de paso y terminaciones de circuitos. Es un ejemplo público de modelado de objetos y relaciones. Nuestro inventario debe ajustarse a su alcance, incluidas las fibras y servicios que necesite administrar el campus. [140]

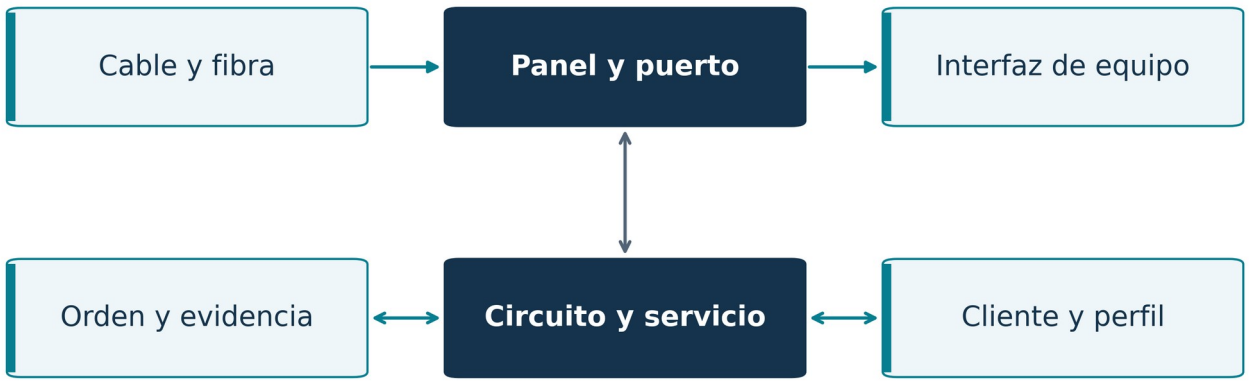


Figura 27.1. Identidades y relaciones del inventario. Un servicio se vincula con recursos y evidencias; el recorrido físico conserva sus objetos propios. Elaboración propia.

Tabla 27.1. Distinguir los objetos que se administran

Objeto	Identificador estable	Relaciones esenciales
Cable y fibra	Cable único y posición de fibra.	Extremos, empalmes y recorrido.
Panel y puerto	Panel único y unidad de posición.	Terminaciones y latiguillos.
Circuito	Identidad del recorrido de entrega.	Extremos y segmentos utilizados.
Servicio	Identidad contractual o lógica.	Circuitos, cliente y perfil.
Evidencia	Archivo o acta con versión.	Objeto, prueba y configuración.

27.2 Asignar identificadores y etiquetas

La identidad debe permanecer estable cuando cambie el cliente o el nombre visible. Los nombres descriptivos pueden facilitar lectura, mientras un identificador interno conserva continuidad histórica. La etiqueta debe permitir localizar el objeto en el registro y distinguirlo de otros de la misma sala.

La convención definirá unidad de puerto, numeración, orientación y extremo. En multifibra incluirá posiciones y su correspondencia. Los colores pueden ayudar a reconocer familias o dominios, pero no serán el único medio de identificación. El significado debe ser accesible a los equipos que instalan, operan y aceptan.

No se reutilizará una identidad retirada de forma que confunda periodos. Si cambia un panel completo, se registrará la sustitución y la relación con el anterior. La trazabilidad necesita reconstruir qué activo existía y qué conexiones estaban presentes durante una prueba o un incidente.

27.3 Representar estados sin confundir dimensiones

Separamos condición física, asignación y aceptación. Un panel puede estar instalado, tener puertos reservados y conservar pruebas pendientes. Una única columna activo o libre no describe esas tres situaciones. El modelo debe permitir impedir una oferta cuando alguno de los recursos necesarios todavía no está utilizable.

Las reservas incluirán pedido, responsable y vigencia. La disponibilidad comercial se calculará después de considerar asignaciones, restricciones y recursos asociados. Un puerto vacío puede carecer de fibra de troncal o estar fuera de servicio por una reparación. La disponibilidad debe poder explicarse mediante sus datos.

Las reglas de unicidad se aplicarán al recurso correcto. Una posición física de parcheo no debe asignarse simultáneamente a conexiones incompatibles; un puerto de red puede alojar varios servicios lógicos autorizados. La multiplexación debe representarse expresamente para evitar falsos duplicados o dobles ventas reales.

27.4 Reconstruir el recorrido en los dos sentidos

Desde un servicio debe poder consultarse la secuencia de demarcaciones, circuitos, cables y posiciones. Desde un cable o panel debe obtenerse la lista de servicios dependientes. Ambas consultas son necesarias: la primera ayuda a entregar y diagnosticar; la segunda permite preparar una intervención y evaluar su impacto.

Los puertos de paso y los casetes necesitan su mapa interno. Si el modelo solo dibuja cables que llegan a la carcasa, puede perder la continuidad entre fibras. Las transformaciones de polaridad deben conservarse en los registros para que una consulta del recorrido no produzca una asociación equivocada. [141]

La infraestructura óptica multiplexada requiere distinguir fibra, canal y servicio. Varios canales pueden compartir una pareja de fibras sin constituir un error de asignación. La consulta de impacto debe reconocer esa dependencia común y mantener las condiciones de propiedad y operación de cada capa.

27.5 Integrar órdenes de trabajo y evidencia

Las altas, cambios y bajas deben actualizar el inventario mediante un proceso definido. La orden incluirá estado previo, actividad, extremos y resultado. El cierre debe conciliar lo ejecutado, incluidas desviaciones aprobadas y materiales utilizados. El registro no puede depender de que alguien recuerde actualizarlo posteriormente.

Las pruebas originales se vincularán al enlace y a su configuración. Deben conservar fecha, instrumento, referencias y límites pertinentes. Una medición anterior a un cambio puede seguir siendo útil como histórico, pero no debe mostrarse como aceptación vigente de componentes que se añadieron después.

Se distinguirá la documentación de diseño de la conforme a obra. Las dos pueden coexistir si su estado es claro. Las ampliaciones deben utilizar como entrada los datos vigentes de operación y conservar la propuesta separada hasta su recepción. La reconciliación final convierte el diseño ejecutado en la nueva referencia.

27.6 Mantener calidad y reconciliar datos

Las validaciones deben buscar extremos incompletos, recorridos sin continuidad, reservas vencidas y asignaciones incompatibles. También se revisarán objetos sin propietario, archivos sin relación y componentes retirados que todavía aparecen en un circuito. Cada hallazgo debe tener responsable y condición de cierre.

La inspección de campo se dirigirá por criticidad y discrepancias. Se compararán etiquetas, conexiones y datos con procedimientos autorizados. La observación debe registrar fecha y alcance. Una fotografía sin ubicación o sin relación con el objeto puede servir de contexto y seguir siendo insuficiente para corregir la conexión.

La automatización puede descubrir interfaces y estados de equipos, pero no conoce por sí sola la geografía del ducto ni todos los empalmes pasivos. Debe distinguir dato observado, declarado y verificado. Los conflictos entre fuentes necesitan reglas de resolución y un historial; no se reemplazará silenciosamente evidencia física por una inferencia.

27.7 Caso de una doble reserva y una dependencia oculta

En un caso ficticio, dos pedidos reservan el mismo puerto con nombres escritos de manera diferente. Además, uno de los servicios utiliza una troncal cuyo estado no aparece en el catálogo comercial. La fecha de entrega se promete sin advertir que el recurso ya estaba comprometido.

El equipo concilia identidad y asignaciones, revisa los pedidos afectados y propone otra posición disponible con recorrido completo. Introduce una validación sobre la identidad del puerto y vincula la disponibilidad a la troncal. Las reservas quedan asociadas a órdenes con vigencia y responsables.

Después verifica que las etiquetas y pruebas representan la solución entregada. El caso demuestra que normalizar nombres es útil, pero necesita relaciones y controles de estado para evitar una doble asignación. La calidad del inventario tiene una consecuencia directa en factibilidad, plazos y mantenimiento.

27.8 Preparar el modelo y sus reglas de administración

1. Objetos, identificadores y unidades.
2. Jerarquía de ubicación y relaciones de conectividad.
3. Estados físicos, asignaciones y aceptación.
4. Reservas, restricciones y cálculo de disponibilidad.
5. Órdenes, evidencias e historial.
6. Validaciones, reconciliación y responsables.

Entrega del capítulo. Modelo de relaciones con control de doble asignación.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿El registro distingue objeto físico y servicio?
2. ¿Puede consultarse el impacto desde un cable hasta sus clientes?
3. ¿Las reservas tienen vigencia y recursos completos?
4. ¿Se diferencian datos de diseño y obra ejecutada?
5. ¿Cada cambio deja una referencia reconstruible?

Capítulo 28 Ampliaciones y migraciones del cableado

Al terminar este capítulo, el lector podrá Migrar cableado conservando un retorno utilizable.

Términos esenciales. Línea base = estado previo comprobado; retorno = restauración del estado preservado.

Ampliar o migrar cableado significa modificar recursos de los que ya pueden depender servicios activos. El cambio necesita capacidad de llegada, condiciones de trabajo y un retorno viable. La preparación debe cubrir la configuración normal y la situación transitoria durante la intervención.

Revisamos reservas, reutilización, cambios de velocidad y retiro de componentes. El objetivo es entregar la capacidad nueva con identidad y pruebas, mientras se conserva la continuidad acordada. Una migración terminada debe dejar menos incertidumbre en el inventario y una infraestructura que pueda seguir creciendo.

28.1 Definir el cambio y su disparador

El alcance debe indicar qué capacidad o aplicación se incorpora, qué componentes se sustituyen y qué servicios pueden afectarse. El disparador puede ser ocupación de puertos, necesidad de más fibras, renovación de equipos o corrección de una dependencia. Cada motivo necesita requisitos medibles y un resultado esperado.

Se comprobará el inventario vigente y el crecimiento ya comprometido. Los recursos libres deben contrastarse con reservas comerciales y trabajos pendientes. Una ampliación no debe consumir sin revisión la capacidad que permite mantener o recuperar otro servicio. El balance se hará por zona y por dominio.

El programa debe considerar suministro, instalación, pruebas y autorizaciones de acceso. El hito de recibir materiales no equivale al de capacidad comercialmente utilizable. La entrega nueva debe pasar por comprobaciones y documentación antes de incorporarse a las ofertas disponibles.

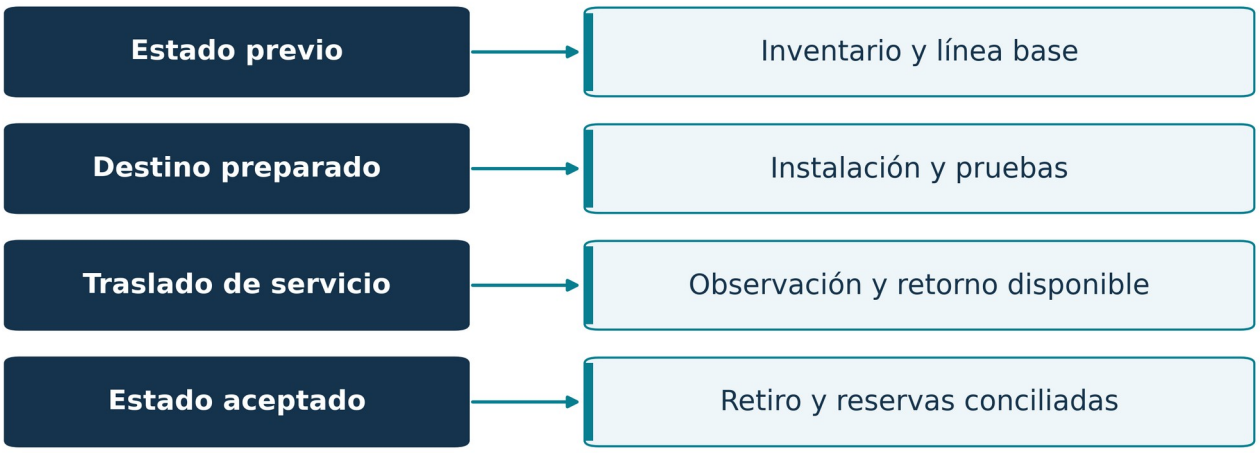


Figura 28.1. La migración prepara el destino antes de transferir servicio y mantiene un camino de retorno. El retiro se realiza después de comprobar dependencias y aceptación. Elaboración propia.

28.2 Dimensionar la reserva que permite intervenir

La reserva incluye fibras, puertos, organizadores, bandejas, espacio y capacidad de equipos. También puede requerir energía y refrigeración para coexistencia temporal. Debe comprobarse el estado durante la migración, cuando infraestructura antigua y nueva pueden permanecer instaladas y activas a la vez.

Si se utiliza el dominio alternativo para mover tráfico, se revisará su capacidad simultánea. Los servicios que se trasladan juntos no pueden contar varias veces la misma reserva exclusiva. La ventana debe registrar la protección reducida y las actividades que dejan de ser admisibles durante esa condición.

Los umbrales de expansión deben anticipar el plazo de habilitación. El modelo conservará demanda, recursos disponibles y consumo previsto. Cuando una nueva venta cambie el escenario de mantenimiento, se revisará el plan antes de asumir que la ampliación comercial conserva las prestaciones anteriores.

28.3 Evaluar la reutilización del cableado

Se verificará medio, longitud, conexiones, polaridad y estado documentado. La nueva aplicación puede exigir otro número de fibras o menor pérdida admisible. Una certificación anterior debe leerse con su fecha y alcance. La reutilización necesita demostrar compatibilidad con la configuración nueva.

El cambio de velocidad puede incorporar otras ópticas, más carriles o una distribución de fibras diferente. Se comprobarán terminales, casetes, latiguillos y capacidad del equipo. El uso de un formato mecánico parecido no demuestra que el canal o la plataforma admitan el modo requerido.

Se comparará reutilización con instalación adicional considerando pruebas, riesgo y mantenimiento. Un ahorro de cable puede aumentar complejidad si obliga a transformar repetidamente mapas de fibras. La decisión debe conservar cómo se diagnosticará y reparará la solución después de la migración.

Tabla 28.1. Evaluar la reutilización del cableado

Recurso	Antes de la migración	Condición durante el cambio
Ruta y fibras	Recorrido y reserva comprobados.	Destino disponible y retorno identificado.
Paneles y latiguillos	Compatibilidad y mapa vigentes.	Componentes nuevos preparados y probados.
Equipos	Modo y capacidad admitidos.	Coexistencia y soporte de la transición.
Servicio	Línea base y dependencias.	Capacidad superviviente y observación.
Inventario	Estado previo conciliado.	Órdenes y modificaciones registradas.

28.4 Preparar el destino y la evidencia inicial

El destino se instalará y probará antes de mover servicio cuando la arquitectura lo permita. Se comprobarán identidad, características y pruebas del medio. Las discrepancias se resolverán mientras

el servicio conserve la configuración anterior. La secuencia reduce incertidumbre en el momento del traslado.

La línea base incluirá indicadores del servicio y de los equipos pertinentes: errores, potencia, retardo, transferencia o resultados de aplicación según alcance. Deben conservarse condiciones de carga y extremos para que la comparación posterior tenga sentido. Una captura aislada no describe variabilidad ni comportamiento bajo demanda.

El procedimiento identificará pasos, responsables y criterios de avance. También incluirá límites para detenerse y una condición concreta de retorno. El retorno debe revisar configuración, recursos y tiempo disponible; no puede reducirse a la expresión volver atrás sin demostrar cómo se ejecuta.

28.5 Ejecutar con control de identidad y continuidad

Antes de cada modificación se comprobarán objeto y servicio. El equipo de operación debe conocer qué tráfico se traslada y qué observación confirmará su recuperación. Los cambios simultáneos se limitarán según el procedimiento para conservar capacidad de diagnóstico y evitar dependencias no consideradas.

Después del traslado se verificará estabilidad, desempeño y estado de la alternativa. La ausencia de una alarma no demuestra que todos los servicios estén recuperados. Deben comprobarse destinos, perfiles y aplicaciones incluidos. La ventana conservará tiempos y resultados, además de la descripción de los trabajos.

Si se activa el retorno, se registrará motivo, configuración restituida y prestación observada. Un cambio que no alcance sus criterios no debe declararse terminado por haber consumido la ventana. Los pendientes se incorporarán al plan con responsables y condiciones para otro intento.

28.6 Retirar componentes y devolver reservas

El retiro comienza después de comprobar servicios dependientes y autorizaciones. Se identificarán cables, fibras, puertos y elementos que permanecen utilizados. La baja debe distinguir recurso liberado, recurso instalado sin uso y componente retirado. Esos estados tienen efectos diferentes sobre disponibilidad y mantenimiento.

La ejecución conservará orden, protección de conectores y condiciones del edificio. Se restituirán sellos y organización afectados. Los materiales retirados tendrán destino conforme al proceso del proyecto. La eliminación física debe acompañarse de actualización de etiquetas e inventario para evitar futuras confusiones.

La capacidad disponible se recalculará después de conciliar el estado final. Puede quedar una reserva menor por las nuevas conexiones o una alternativa temporal pendiente de retirar. La operación necesita conocer esos límites y el siguiente umbral de expansión antes de cerrar el cambio.

28.7 Caso de cambio de aplicación con un casete pendiente

En un caso ficticio, una plataforma migra a interfaces de mayor capacidad. Se instalan nuevas ópticas y se reutiliza la troncal, pero una parte del canal conserva casetes que entregan otro mapa de fibras. La pérdida sigue dentro del presupuesto y el servicio no alcanza la configuración prevista.

El equipo aplica la condición de retorno, restituye la aplicación anterior y revisa la cadena completa. Prepara los componentes correctos, comprueba polaridad y repite las pruebas antes de abrir otra

ventana. La nueva intervención conserva tanto la referencia anterior como los resultados del destino preparado.

Después de aceptar, se retiran los componentes autorizados y se actualiza la capacidad. El caso muestra que una migración necesita ingeniería del estado final y del transitorio. La evidencia de pérdida, mapa y compatibilidad debe corresponder a la aplicación que se quiere activar.

28.8 Preparar el expediente de ampliación y migración

1. Motivo, requisitos y servicios afectados.
2. Inventario y línea base vigentes.
3. Capacidad de destino y condición transitoria.
4. Compatibilidad y pruebas previas.
5. Procedimiento, responsables y retorno.
6. Resultados, retiro, reservas y documentación final.

Entrega del capítulo. Secuencia por dominio con criterios de parada.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La reserva permite coexistencia durante el cambio?
2. ¿La nueva aplicación es compatible con todo el canal?
3. ¿El destino se probó antes de trasladar servicio?
4. ¿El retorno tiene recursos y criterios concretos?
5. ¿Qué capacidad queda libre al cerrar la intervención?

Parte 6 Equipos del carrier y del cliente

Los equipos adaptan señales y entregan prestaciones. Se relacionan transceptores, demarcación, switches, servidores, almacenamiento e IA con sus interfaces y restricciones reales.

Capítulo 29 Equipos ópticos y transceptores

Al terminar este capítulo, el lector podrá Seleccionar y aceptar una pareja óptica como combinación completa.

Términos esenciales. Transpondedor = adaptación entre cliente y línea; DOM = diagnóstico del módulo.

Los equipos ópticos convierten interfaces de cliente en señales que pueden recorrer el medio disponible. La compatibilidad depende de formato, modo, longitud de onda, FEC, potencia y condiciones del sistema. Dos módulos con el mismo tamaño y velocidad nominal pueden necesitar canales y configuraciones diferentes.

Seguimos interfaces de cliente y línea, transpondedores, multiplexación, amplificación y ópticas de equipo. El objetivo es preparar una ficha que permita instalar, aceptar y diagnosticar una conexión sin atribuir todas las degradaciones a la fibra. El canal y los terminales deben describirse como una solución verificable.

29.1 Distinguir funciones de los equipos

Montaje o lámina de apoyo: figura M.11; figura M.12. La leyenda conserva el alcance y las comprobaciones del ejemplo.

Un transpondedor adapta una señal cliente a una interfaz de transporte. Un muxpondedor reúne varias señales cliente en una capacidad de línea compatible. La adaptación debe conservar el servicio y las funciones previstas; no se interpreta como una suma libre de velocidades sin considerar estructura y límites del equipo.

Ciena describe el uso de OTN para mapear clientes y agregar señales en canales DWDM. Esa relación ayuda a diferenciar una función de adaptación de una función fotónica. La arquitectura concreta puede incluir plataformas separadas o funciones integradas; el inventario debe identificar qué termina y qué atraviesa cada nodo. [142]

Un multiplexor óptico combina canales por longitud de onda y un demultiplexor los separa. Un ROADM permite modificar relaciones de inserción, extracción y paso según sus capacidades. La existencia de puertos ópticos no significa que el equipo realice conmutación Ethernet o encaminamiento IP.



Figura 29.1. Relación entre interfaz cliente, adaptación y canal de línea. La amplificación y el encaminamiento fotónico forman parte del presupuesto del sistema. Elaboración propia.

Tabla 29.1. Distinguir funciones de los equipos

Función	Qué modifica o administra	Qué no debe atribuirse automáticamente
Transpondedor	Adaptación de una señal cliente al transporte.	Capacidad para cualquier formato de línea.
Muxpondedor	Agregación de señales cliente compatibles.	Capacidad útil sin límites de adaptación.
Multiplexor o ROADM	Canales y recorridos ópticos.	Tratamiento de paquetes del cliente.
Amplificador	Potencia óptica y condiciones de propagación.	Regeneración de bits y eliminación de todo deterioro.
Regeneración	Recepción y nueva transmisión de la señal.	Conservación de un único dominio óptico.

29.2 Separar interfaces de cliente y de línea

La interfaz cliente recibe la aplicación o el transporte que se quiere llevar. La interfaz de línea utiliza el formato previsto para el sistema óptico. Deben registrarse las dos con sus velocidades, estructura y condiciones. Una cifra comercial de capacidad puede describir una de ellas y resultar insuficiente para inferir la otra.

Los cambios de formato pueden introducir supervisión, corrección de errores y adaptación. El diseño debe conocer la capacidad útil y cómo se distribuye entre clientes. Cuando hay varios puertos, se revisarán combinaciones admitidas y recursos compartidos de la tarjeta, además de la velocidad individual.

El punto de demarcación debe indicar si el cliente recibe fibra, una interfaz de equipo o un servicio gestionado. Esa decisión determina qué parámetros puede configurar y medir cada parte. La operación necesita contactos y procedimientos para resolver discrepancias en la frontera entre cliente y línea.

29.3 Elegir ópticas por modo y compatibilidad

Se comprobarán formato mecánico, características eléctricas del host, modo óptico, número de carriles, fibra, conectores y FEC. También se revisarán versiones de software, licencias y matrices de soporte. Que el módulo pueda insertarse no demuestra que el equipo soporte su modo de operación.

Las interfaces de transmisión directa y las coherentes utilizan arquitecturas distintas. En coherente, modulación y procesamiento permiten trabajar con condiciones específicas de alcance y calidad. No se seleccionará un modo únicamente por su capacidad máxima si el recorrido no conserva margen suficiente.

Las ópticas bidireccionales necesitan extremos complementarios conforme a su especificación. Las aplicaciones paralelas requieren un mapa de fibras correcto. Los módulos DWDM deben conciliar canal, banda y filtros. La ficha debe permitir comprobar la pareja completa y el sistema de línea que la transporta.

29.4 Comparar DAC AOC y ópticas separables

Un DAC conecta interfaces mediante un conjunto eléctrico de cable y terminaciones compatible con los equipos. Puede ser pasivo o incorporar funciones activas según el producto. Se revisarán longitud, compatibilidad, radios y extracción. Su uso no debe confundirse con una instalación de cobre estructurado certificada como canal.

Un AOC incorpora conversión óptica en un conjunto de cable y extremos. Debe comprobarse compatibilidad y acceso para sustituirlo. La facilidad de instalación puede acompañarse de una forma de reparación diferente a la de ópticas separadas con latiguillos. El inventario debe identificar el conjunto que se reemplaza.

Las ópticas separables permiten administrar por separado módulos y cableado, con más interfaces que conservar. La comparación incluirá repuestos, consumo, espacio, alcance y mantenimiento. La selección debe considerar cómo se cambia el componente dentro del rack ocupado y qué partes del canal se prueban.

29.5 Comprobar potencia calidad y margen

La potencia recibida debe estar dentro de las condiciones admitidas y relacionarse con el modo. Un nivel suficiente no demuestra calidad de señal; pueden existir ruido, filtrado, dispersión o incompatibilidad. También debe revisarse el máximo admitido para evitar una condición fuera del rango del receptor.

Los indicadores de diagnóstico pueden incluir potencia, temperatura, tensión y parámetros de transmisión, según el módulo. Debe conocerse qué representa cada dato, su unidad y validez. La lectura del equipo es útil para supervisar y puede requerir una comparación con instrumentación y método adecuados cuando se acepta el enlace.

En sistemas con varios canales, una medida de potencia agregada no sustituye la caracterización por canal. Los criterios de OSNR, GSNR y FEC dependen de métodos y configuración que se desarrollarán en la parte de aceptación. El expediente conservará las condiciones que permiten comparar medidas y márgenes.

29.6 Administrar equipos software y soporte

Cada equipo debe tener función, propietario, configuración y condiciones de soporte. Se registrarán módulos, versiones y repuestos compatibles. Una actualización de software o un cambio de tarjeta puede modificar modos, telemetría y comportamiento de protección. La revisión necesita considerar las conexiones que utiliza el equipo.

También se comprobarán alimentación, ventilación y disipación con el perfil real de interfaces. Poblar puertos de mayor capacidad puede aumentar consumo o alterar restricciones de la plataforma. La capacidad de panel y la de refrigeración no se deducen una de otra; deben validarse antes de instalar nuevos módulos.

Las funciones de supervisión necesitan acceso y permisos. Debe establecerse quién conserva series y contadores y quién puede modificar potencia o modo. Los cambios de una red óptica activa deben seguir los procedimientos del operador y el sistema, con pruebas que cubran las prestaciones comprometidas.

29.7 Caso de módulos iguales con modos diferentes

En un caso ficticio se instalan dos módulos del mismo formato y capacidad nominal. Los extremos utilizan distintos modos de FEC y la interfaz no funciona como se esperaba. La potencia recibida está dentro de rango y una prueba del cableado no encuentra una pérdida excesiva.

El diagnóstico compara especificaciones, modos admitidos y configuración de ambos hosts. Corrige la combinación autorizada y comprueba errores y estabilidad bajo las condiciones acordadas. También confirma que la solución mantiene margen en la ruta alternativa antes de aceptarla como protegida.

La entrega conserva referencias y versiones, además del resultado de pérdida del canal. El caso demuestra que el diagnóstico necesita separar medio, óptica, host y transporte. Cambiar el cable sin esa revisión puede repetir el mismo fallo con componentes nuevos.

29.8 Preparar la ficha de compatibilidad óptica

1. Cliente, línea y función de cada equipo.
2. Host, módulo, software y modos admitidos.
3. Medio, conectores, polaridad y longitudes de onda.
4. Presupuesto, calidad y condiciones de margen.
5. Potencia, ambiente, soporte y repuestos.
6. Pruebas, telemetría y configuración aceptada.

29.9 Resolver una pareja óptica antes de comprarla

El expediente de una pareja debe poder seguirse desde el puerto del host A hasta el puerto del host Z. Primero se fija la aplicación: caudal, distancia óptica, fibra disponible, conectores y condiciones ambientales. Después se verifica la combinación de host, software, módulo y modo en ambos extremos. El número de parte de una óptica forma parte de la configuración; escribir únicamente 100G deja sin resolver carriles, codificación, presupuesto y soporte.

En Faro se prepara una matriz para una entrega de 100 Gb/s físicos con 40 Gb/s comprometidos. Esa distinción conserva su importancia aunque la óptica pueda transportar una tasa superior. La matriz

siguiente contiene requisitos de ejemplo; una selección comercial necesita sustituir cada estado pendiente por una especificación verificable. El fabricante no queda identificado por la forma mecánica del módulo.

Tabla 29.2. Resolver una pareja óptica antes de comprarla

Campo de la pareja	Extremo A y extremo Z	Comprobación de cierre
Host y puerto	NID-A / interfaz cliente; borde A / interfaz WAN	Identificar tarjeta, carriles, software y licencia en ambos
Aplicación óptica	La misma aplicación compatible en ambos extremos	No mezclar aplicaciones por compartir velocidad o carcasa
Fibra y conectores	Canal monomodo; dos fibras del inventario	Seguir Tx de A hasta Rx de Z y el retorno
Modo y FEC	Modo exacto documentado; FEC acordada	Conservar configuración y contadores válidos
Potencias y pérdidas	Rangos del modo y pérdida del canal terminado	Evaluar sensibilidad y sobrecarga con extremos desfavorables
Estado final	Pareja soportada y ensayada	Archivar números de parte, versiones y evidencia

29.10 Comprobar sensibilidad y sobrecarga con un ejemplo

Supóngase una pareja ficticia cuya potencia transmitida está entre −3 y +1 dBm, sensibilidad de −10 dBm y máximo de recepción de +2 dBm. Con pérdida máxima de canal de 2,20 dB, la recepción mínima estimada es −5,20 dBm y el margen frente a sensibilidad es 4,80 dB. Si la pérdida mínima fuera 0,40 dB, la recepción máxima sería +0,60 dBm y quedaría 1,40 dB frente al máximo admitido. Ambos cálculos pertenecen al mismo sentido; se repiten con las especificaciones del sentido opuesto.

Las cifras son didácticas y no describen una óptica comercial. La compatibilidad necesita además verificar el modo, los carriles y los límites de calidad pertinentes. Un atenuador puede resolver sobrecarga en una aplicación concreta y consumir margen en el otro extremo del intervalo; se calcula e identifica como componente del canal. Una lectura DOM orienta sobre el estado del módulo, pero su exactitud y punto de observación deben conocerse antes de compararla con un ensayo de pérdida.

29.11 Aceptar adaptación y línea como funciones distintas

Para un transpondedor se dibujan tres objetos: interfaz cliente, adaptación y canal de línea. En la aceptación se registra dónde se insertó el patrón, qué mapa OTN se utilizó y dónde terminó el bucle. Un contador posterior a FEC puede permanecer sin errores mientras aumenta el esfuerzo de corrección; se conservan ambos contadores junto con potencia, carga de canales y duración. El laboratorio 50 organiza la observación de errores y el 51 comprueba la relación entre capas.

En una sustitución se compara el nuevo módulo con la configuración de referencia antes de conectarlo. Después se verifica reconocimiento por el host, modo activo, alarmas, potencia y tráfico representativo. La retirada del módulo anterior espera a la validación final. Si se cambia software o firmware durante la sustitución, el expediente identifica las dos variables y repite las comprobaciones afectadas.

Entrega del capítulo. Matriz de pareja con presupuesto y comprobaciones.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Se distinguen capacidad cliente y capacidad de línea?
2. ¿Los dos hosts admiten el modo y los módulos instalados?
3. ¿La calidad se comprobó además de la potencia?
4. ¿La alternativa conserva el margen necesario?
5. ¿La operación dispone de configuración y repuestos compatibles?

Capítulo 30 Demarcación y borde de red

Al terminar este capítulo, el lector podrá Definir fronteras físicas de servicio administración y prueba.

Términos esenciales. NID = equipo de demarcación; UNI = interfaz de entrega al usuario.

El borde de red es el lugar donde se encuentran la infraestructura del carrier y la red del cliente. La demarcación debe indicar qué interfaz se entrega, qué servicio comienza allí y quién administra cada componente. Un panel de fibra, un NID y un router pueden participar en la misma entrega con responsabilidades distintas.

Seguimos equipos de demarcación, switches y routers hasta el borde del cliente. El objetivo es poder aceptar y diagnosticar la prestación sin trasladar responsabilidades por supuestos. Ubicación, alimentación y acceso forman parte de esa definición, además de las configuraciones de red.

30.1 Separar demarcación física y de servicio

La demarcación física identifica un punto de conexión y mantenimiento. La de servicio define el comportamiento que una organización entrega a otra. Pueden coincidir o estar separadas por cableado y equipos. La ficha debe relacionarlas con extremos concretos y con las pruebas que corresponden a cada alcance.

MEF 10.4 describe atributos observables en la interfaz Ethernet de usuario y entre interfaces de usuario. Esa referencia sitúa el compromiso en un comportamiento de servicio, además del punto físico. La implementación debe identificarse según el producto y el acuerdo entre las partes. [143]

La documentación incluirá quién instala y mantiene el latiguillo, qué cara del panel recibe el cliente y dónde se conecta el instrumento de prueba. Si el punto de medida difiere del de entrega, debe explicarse qué tramo queda fuera y cómo se comprueba. La aceptación no debe extenderse por inferencia.

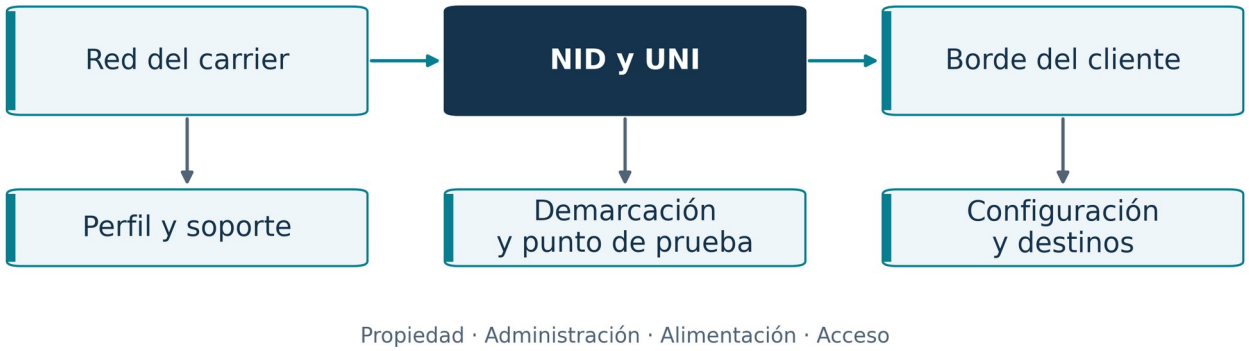


Figura 30.1. Entrega mediante un equipo de demarcación y un borde de cliente. La posición contractual de la UNI debe fijarse en el proyecto; el esquema representa una implementación posible. Elaboración propia.

30.2 Comprender la función de un NID

Un network interface device puede presentar la interfaz de entrega y aportar funciones de supervisión, pruebas y tratamiento del servicio según sus capacidades. Deben identificarse puertos de red y de

cliente, alcance de gestión y puntos donde se aplican perfiles. El nombre NID no define una lista universal de funciones.

La ficha debe describir qué alarmas detecta, qué pruebas puede ejecutar y qué evidencia conserva. Una función de bucle o reflector tiene condiciones de acceso y puede afectar tráfico. El procedimiento debe indicar quién autoriza su uso y cómo se restituye el estado normal.

El dispositivo añade dependencias de alimentación, ambiente y soporte. Si queda dentro del espacio del cliente, deben conciliarse acceso y responsabilidades. Una falla eléctrica local puede presentarse como pérdida de carrier; el diagnóstico necesita conocer qué alimentación sostiene el equipo de demarcación.

Tabla 30.1. Comprender la función de un NID

Componente	Función posible	Responsabilidad que debe fijarse
Panel pasivo	Terminar y organizar cableado.	Identidad, limpieza, mantenimiento y pruebas del medio.
NID	Presentar y supervisar una entrega.	Gestión, alimentación y funciones de prueba.
Switch del carrier	Tratar servicios y agregar tráfico.	Perfil, clases, capacidad y soporte.
Router del cliente	Conectar redes y aplicar políticas.	Configuración, alcance y continuidad.

30.3 Definir interfaces y perfil contratado

La entrega Ethernet debe indicar velocidad del puerto, tasa comprometida, exceso si corresponde, clases y tratamiento de tramas. También debe fijar MTU y etiquetado. Un puerto de mayor velocidad puede alojar un perfil inferior; la prueba debe evaluar lo contratado en condiciones identificadas.

La entrega IP requiere direccionamiento, siguiente salto o relaciones de enrutamiento y política de alcance según el servicio. Deben aclararse rutas, redundancia y responsabilidades sobre anuncios. La disponibilidad del enlace físico no demuestra que los destinos requeridos puedan alcanzarse correctamente.

La configuración de ambas partes debe conciliarse antes de activar. Se comprobarán ópticas, negociación cuando aplique, VLAN, MTU, FEC y parámetros pertinentes. Un desacuerdo en una de esas condiciones puede impedir la prestación aunque cada equipo funcione correctamente de manera aislada.

30.4 Asignar propiedad administración y acceso

Para cada equipo se registrará propietario, operador, mantenedor y autoridad de cambio. El cliente puede alimentar un equipo que administra el carrier; el campus puede alojarlo sin gestionar sus servicios. La matriz debe describir esas relaciones y los contactos que permiten resolver una incidencia.

La gestión necesita un camino y reglas de seguridad. Se identificarán accesos locales y remotos, conservación de configuraciones y escalamiento. La observación del servicio debe ser suficiente para

distinguir falla del puerto, del equipo y de tramos posteriores. Los permisos deben permitir las tareas autorizadas sin ampliar acceso innecesariamente.

El soporte debe incluir repuestos y condiciones de intervención. Si el equipo se reemplaza, se comprobará cómo recuperar configuración e identidad del servicio. La operación necesita conocer los requisitos de acceso al recinto y las coordinaciones con el cliente para evitar retrasos durante una falla.

30.5 Diseñar redundancia desde el borde

Dos circuitos pueden llegar a puertos distintos de un mismo equipo. Esa solución conserva una dependencia del chasis y sus suministros. Si el requisito cubre pérdida de equipo, debe estudiarse otra arquitectura con extremos y recursos independientes para ese escenario.

Dos equipos pueden compartir alimentación, rack, ruta o gestión. La revisión debe seguir esos recursos y relacionarlos con la continuidad del cliente. También debe comprobarse el comportamiento lógico: cómo se detecta la pérdida, qué tráfico migra y qué capacidad queda disponible.

La protección requiere coordinación entre carrier y cliente. Una red puede conservar alcance mientras la otra utiliza temporizadores o políticas que retrasan la recuperación. Las pruebas deben observar la prestación completa y el retorno, además de las alarmas de cada extremo.

30.6 Aceptar el borde y preparar diagnóstico

El plan comprobará identificación, interfaz y perfil, con extremos de medida definidos. Se conservarán configuraciones relevantes, contadores y resultados bajo carga. Las pruebas de Ethernet o IP se desarrollarán en capítulos posteriores; aquí se fija qué punto representa la responsabilidad de cada parte.

Los bucles de prueba deben delimitar qué segmento cubren y qué impacto tienen. Un resultado favorable hasta el NID no acredita automáticamente la red interna del cliente. Un resultado desfavorable debe relacionarse con el montaje y con el estado de los extremos antes de atribuirlo a un tramo concreto.

El expediente incluirá una línea base de operación normal y las evidencias de contingencia acordadas. Los cambios de equipo, software o ubicación necesitarán revisar los parámetros afectados. La demarcación debe seguir siendo reconocible cuando cambien las personas que operan el servicio.

30.7 Caso de doble acceso sobre una alimentación común

En un caso ficticio, un cliente recibe dos carriers mediante dos NID instalados en un rack. Los accesos externos son físicamente diferentes, pero ambos dispositivos dependen de una única alimentación local. Su pérdida interrumpe las dos entregas antes de que actúe la redundancia del cliente.

El equipo concilia propiedad y responsabilidades y desarrolla la solución de alimentación compatible con los NID y con el diseño del sitio. También revisa el camino de gestión y el comportamiento de recuperación. La prueba debe representar el escenario que se quiere soportar, con los controles correspondientes.

El acta conserva la nueva configuración y los límites que permanecen. El caso muestra que la diversidad del carrier necesita llegar hasta el borde utilizable. La continuidad se evalúa en la cadena completa de recursos y responsabilidades.

30.8 Preparar la ficha de demarcación y borde

1. Puntos físicos y de servicio con identificación completa.
2. Equipos, puertos y perfiles.
3. Propiedad, administración y mantenimiento.
4. Alimentación, ambiente, gestión y acceso.
5. Escenarios de redundancia y capacidad superviviente.
6. Pruebas, línea base, contactos y control de cambios.

30.9 Dibujar la entrega con cuatro fronteras

La llegada física, la UNI del servicio, el límite de administración y el punto de prueba pueden estar en lugares diferentes. Dibujarlos con símbolos distintos evita atribuir al carrier una fibra interior del cliente o dar por incluido un latiguillo añadido después de la aceptación. En Faro la orden XC-A-0001 enlaza el ODF del carrier con la distribución A; la entrega continúa por TR-A-E01 hasta el panel del rack y el NID-A. El contrato debe fijar cuál de esos puntos es la UNI.

Tabla 30.2. Dibujar la entrega con cuatro fronteras

Frontera	Pregunta que resuelve	Registro del ejemplo
Física	Dónde se conectan los medios	Panel, puerto, fibra y tipo de conector
De servicio	Dónde se evalúa el perfil contratado	UNI, VLAN, MTU y clases
De administración	Quién puede cambiar cada elemento	Carrier, campus o cliente con atribuciones definidas
De prueba	Qué tramo representa el resultado	Generador y reflector con bucle y capa identificados

30.10 Preparar un NID para que el diagnóstico sea reproducible

Se necesita identificar alimentación, gestión fuera de banda, puerto de red y puerto de cliente. El inventario registra cómo se accede si falla el servicio y quién puede activar un bucle. La entrega conserva perfil de velocidad, clasificación de tráfico, tratamiento de etiquetas, tamaño admitido y comportamiento ante exceso. Se acuerda qué contadores se leen y en qué momento se reinician para una ventana de ensayo.

Un bucle de puerto devuelve tráfico desde su ubicación; puede dejar fuera el latiguillo final, el borde y la aplicación. En un dibujo se marca el generador, el tramo atravesado y el retorno. Se hacen dos pruebas cuando el requisito lo necesita: una hasta el NID y otra hasta el equipo del cliente. La diferencia permite localizar el alcance que introduce el problema sin ampliar indebidamente la conclusión de la primera.

30.11 Resolver un cambio de etiquetas en la demarcación

Supóngase que el cliente entrega VLAN 100 y el operador transporta una etiqueta exterior 200. La ficha indica si VLAN 100 se conserva, se sustituye o se entrega sin etiqueta al otro extremo. Se registra también el tratamiento de PCP y los límites de tamaño de trama. Una captura en un puerto lógico

puede mostrar una representación distinta de la del cable por descarga de etiquetas en la NIC; se conserva la ubicación de captura y se contrasta con la configuración.

1. Comparar la orden con ambos extremos físicos y con el perfil de servicio.
2. Confirmar gestión independiente y estado de la alternativa antes de un ensayo disruptivo.
3. Enviar tráfico de prueba con la clasificación acordada y observar contadores de entrada, conformidad y descarte.
4. Verificar entrega en el extremo remoto y respuesta por la ruta de retorno.
5. Retirar el bucle y la configuración de ensayo; validar una transacción del cliente y registrar el estado final.

La pérdida de A se ensaya con B sosteniendo los 32 Gb/s exigidos al servicio sobreviviente. Una prueba en un puerto no acredita la pérdida de toda la MMR: equipos, energía y gestión incluidos en ese escenario deben quedar definidos. El acta conserva por separado el resultado del NID y el de la operación completa.

Entrega del capítulo. Ficha de entrega y dibujo del bucle de prueba.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Coinciden demarcación física y de servicio?
2. ¿Qué funciones aporta realmente el NID?
3. ¿El perfil contratado está conciliado en ambos extremos?
4. ¿Dos circuitos comparten equipo o alimentación?
5. ¿Las pruebas permiten separar responsabilidades?

Capítulo 31 Arquitecturas de switches

Al terminar este capítulo, el lector podrá Calcular cortes y capacidad de una fabric en normalidad y falla.

Términos esenciales. Leaf = acceso a extremos en la fabric; ECMP = reparto entre caminos de igual costo.

La arquitectura de switches determina cómo circula el tráfico entre servidores, almacenamiento y redes externas. La cantidad de puertos es solo una parte del diseño: deben comprobarse caminos, capacidad agregada, colas y comportamiento durante fallas. La topología elegida debe responder al patrón de tráfico que utilizará la plataforma.

Comparamos esquemas tradicionales y leaf-spine, junto con ToR y EoR. El objetivo es poder calcular la capacidad de una arquitectura y explicar sus límites sin confundir velocidad individual con capacidad simultánea. La aceptación debe representar servicios y cargas que comparten los mismos recursos.

31.1 Definir el patrón de tráfico

Se identificarán comunicaciones entre servidores, hacia almacenamiento y hacia el exterior. El tráfico este-oeste puede concentrarse entre racks o distribuirse en varias salas; el norte-sur puede utilizar bordes específicos. La matriz de demanda debe indicar simultaneidad, tamaño de flujos y objetivos de desempeño.

La arquitectura debe contemplar crecimiento y estados de falla. Un diseño suficiente con todos los enlaces disponibles puede quedar sobresuscrito durante mantenimiento. Se registrarán recursos compartidos y la capacidad que cada grupo de equipos conserva cuando se retira un elemento previsto.

También se revisarán tablas y funciones de red: direcciones, rutas, segmentación y políticas. La capacidad de reenvío necesita convivir con esos límites. El modelo del switch y su software deben soportar la combinación funcional y de escala que requiere el proyecto.

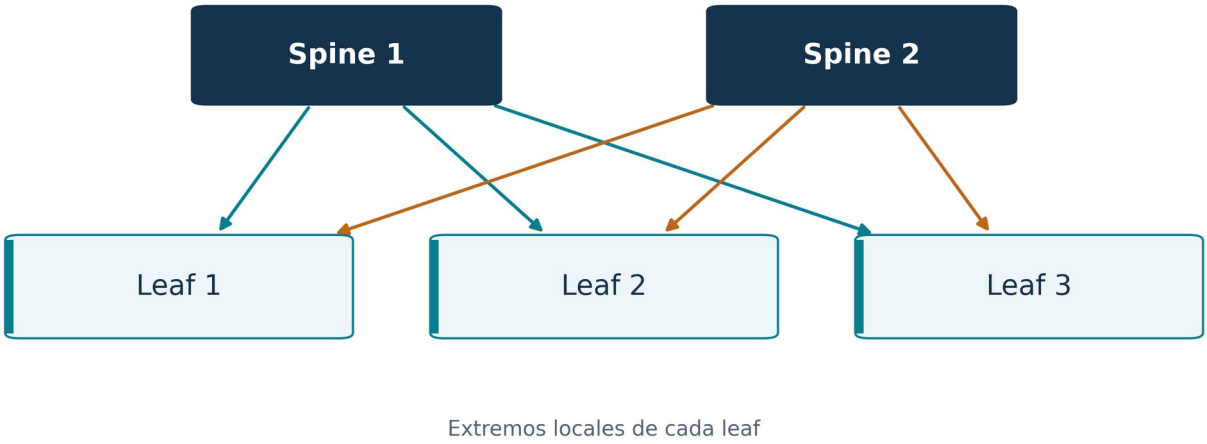


Figura 31.1. Ejemplo leaf-spine con dos spines y tres leafs. Los enlaces representan caminos disponibles; la capacidad y el reparto de tráfico deben calcularse para la configuración real. Elaboración propia.

31.2 Comparar jerarquía tradicional y leaf spine

Una arquitectura jerárquica puede organizar acceso, agregación y núcleo con funciones definidas. Debe evaluarse dónde se concentra el tráfico y qué dispositivos terminan servicios. La continuidad y capacidad dependerán de conexiones, protocolos y suministros, no únicamente de la cantidad de niveles dibujados.

En un ejemplo leaf-spine de dos niveles, los leafs conectan extremos y cada leaf se enlaza con los spines. El tráfico entre leafs utiliza esos caminos según la arquitectura. RFC 7938 documenta experiencia de uso de BGP en data centers grandes y trata topologías Clos y reparto ECMP. Es una referencia de diseño, no una obligación universal. [144]

Los bordes pueden ubicarse en equipos dedicados o en funciones integradas según escala y servicio. Debe identificarse cómo llega el tráfico externo a la fabric y qué capacidad comparte con otras cargas. Una simetría visual entre leafs no garantiza que todos tengan el mismo papel.

31.3 Distinguir ToR y EoR del plano lógico

Top of Rack describe una distribución de switches próxima a los equipos de cada rack, aunque la posición exacta puede variar. End of Row concentra conexiones en una posición de fila. Son decisiones de ubicación y cableado que pueden combinarse con distintas arquitecturas lógicas.

ToR puede reducir recorridos locales y distribuir equipos activos. EoR puede concentrar administración y aumentar volumen de cable hacia racks. La comparación incluirá cantidad de switches, puertos utilizados, repuestos, alimentación, refrigeración y acceso de mantenimiento. No existe una ventaja única independiente de escala y carga.

Las conexiones redundantes de servidores deben coordinarse con los leafs y el mecanismo de continuidad. Dos interfaces del host pueden terminar en el mismo equipo y conservar esa dependencia. La topología física debe representar extremos, dominios y servicios, además de la posición de cada switch.

Tabla 31.1. Distinguir ToR y EoR del plano lógico

Decisión	Efecto posible	Comprobación necesaria
Más enlaces ascendentes	Mayor capacidad y caminos potenciales.	Puertos, ópticas y reparto de flujos.
ToR distribuido	Cables locales más cortos.	Operación y soporte de más equipos.
EoR concentrado	Administración de conexiones en la fila.	Volumen y recorrido del cableado.
Leafs alternativos	Continuidad de acceso del host.	Dependencias y mecanismo del extremo.

31.4 Calcular sobresuscripción con unidades comparables

La relación se calcula sobre las capacidades que compiten por un recurso, indicando sentido y supuesto de tráfico. No se mezclará una cifra de conmutación que suma ambos sentidos con una demanda expresada en un solo sentido. El alcance del cálculo debe incluir las restricciones de la plataforma.

En un ejemplo ficticio, un leaf conecta ocho interfaces de 25 Gb/s y tiene dos enlaces ascendentes de 100 Gb/s. La suma descendente es 200 Gb/s y la ascendente también 200 Gb/s en cada sentido considerado. La relación nominal es 1 a 1 para ese recurso.

Si se pierde uno de los ascendentes quedan 100 Gb/s frente a 200 Gb/s de demanda nominal descendente: la relación pasa a 2 a 1. Eso no afirma que toda aplicación falle, pero impide prometer simultaneidad completa sin revisar carga y compromisos. El escenario debe formar parte de las pruebas.

31.5 Interpretar ECMP y capacidad por flujo

Los caminos de igual costo pueden distribuir tráfico mediante mecanismos de selección de flujos. La capacidad agregada de varios enlaces no implica que un único flujo pueda utilizar la suma. El comportamiento depende de la implementación y de los campos y condiciones del reparto.

Una prueba con un solo flujo puede quedar limitada por el enlace o camino que le corresponde, mientras múltiples flujos utilizan más recursos. Las dos pruebas responden preguntas distintas. La aceptación debe conservar cantidad de flujos, direcciones y tamaño, además de la tasa total observada.

Los cambios de caminos pueden producir transitorios que deben observarse. Se revisarán pérdida, reordenamiento y recuperación de las aplicaciones según la arquitectura. El reparto normal debe compararse con el que queda durante la contingencia, especialmente si los caminos supervivientes tienen otra capacidad.

31.6 Evaluar buffers colas y microbursts

Las colas absorben diferencias temporales entre llegada y salida hasta sus límites y políticas. Un promedio bajo de utilización puede ocultar ráfagas breves que producen descarte. El diseño debe considerar distribución de tráfico, simultaneidad y clases, además de las tasas nominales.

En un ejemplo idealizado, un exceso de llegada de 100 Gb/s durante 100 microsegundos acumula 1,25 MB decimales antes de considerar otros factores. La cifra ilustra el volumen de una ráfaga; no establece un buffer recomendado ni reproduce la gestión interna de un ASIC concreto.

Los contadores de descarte y ocupación deben relacionarse con intervalo y cola. Una cifra global puede ocultar una clase afectada. El capítulo 58 desarrollará congestión y calidad de servicio; aquí el proyecto debe comprobar que la plataforma expone la información y funciones necesarias.

31.7 Caso de capacidad normal y degradación al perder un spine

En un caso ficticio, la fabric supera una prueba distribuida con todos sus caminos. Al retirar un spine, la plataforma conserva conectividad pero una carga simultánea genera colas y pérdida. Los enlaces supervivientes tienen menos capacidad que la demanda del escenario.

El equipo compara cálculos, distribución de flujos y contadores de colas. Evalúa ampliar ascendentes, reducir sobresuscripción o ajustar compromisos y prioridades de contingencia. La solución debe corresponder a requisitos de las aplicaciones y comprobarse con tráfico representativo.

El expediente registra capacidad normal y superviviente por separado. La prueba de continuidad se completa con una de desempeño después de converger. El caso muestra por qué conservar alcance no equivale a conservar toda la capacidad que tenía la red antes de la falla.

31.8 Preparar la ficha de arquitectura de switches

1. Patrones de tráfico y simultaneidad.
2. Topología, ubicación y funciones de equipos.
3. Puertos, enlaces, ópticas y límites de plataforma.
4. Sobresuscripción normal y de contingencia.
5. Reparto de flujos, colas y observación.
6. Pruebas, configuraciones y condiciones de crecimiento.

31.9 Dimensionar puertos y cortes con una matriz numérica

Considérese una fabric de ejercicio con cuatro leafs y dos spines. Cada leaf dispone de 24 puertos de servidor a 25 Gb/s y un ascendente de 100 Gb/s a cada spine. La suma nominal descendente es 600 Gb/s y la ascendente normal 200 Gb/s por leaf: relación 3 a 1. Al perder un spine quedan 100 Gb/s y la relación pasa a 6 a 1. Son capacidades por sentido y sumas nominales; el patrón real de tráfico determina la demanda sobre cada corte.

Tabla 31.2. Dimensionar puertos y cortes con una matriz numérica

Escenario por leaf	Demanda simultánea hacia otros leafs	Capacidad ascendente	Decisión del ejercicio
Todos los servidores al 20 %	120 Gb/s	200 Gb/s	Cabe en el agregado normal; revisar distribución
Todos los servidores al 20 % y un spine perdido	120 Gb/s	100 Gb/s	Faltan 20 Gb/s antes de sobrecargas
Objetivo degradado acordado	80 Gb/s	100 Gb/s	Validar clases y ráfagas con 20 Gb/s nominales restantes
Un flujo entre dos hosts	Según aplicación	Un camino elegido por la arquitectura	La suma de ascendentes no es su tasa garantizada

Si dos leafs concentran tráfico hacia un mismo destino se calcula también ese corte y la entrada al almacenamiento. La matriz origen-destino debe declarar qué demandas ocurren a la vez. Multiplicar todos los puertos por su velocidad puede servir como cota de diseño, pero una prueba debe describir las comunicaciones que realmente genera y recibe.

31.10 Seguir un flujo y explicar el agregado

En ECMP el reparto depende de la función de selección de caminos y de los campos considerados por la plataforma. Con una política por flujo, una sesión suele quedar asociada a un camino durante un estado estable; varios flujos pueden repartirse de forma desigual. El ensayo conserva puertos de transporte, número de sesiones y distribución por ascendente. Si ocho sesiones coinciden mayoritariamente en un enlace, se estudia el reparto antes de atribuir a la fibra una reducción del agregado.

Para observar la contingencia se toma una línea base por enlace y cola, se retira el recurso autorizado y se mide después de la convergencia. Se conservan la interrupción inicial y el régimen degradado como fenómenos distintos. Un agregado que vuelve a la misma tasa puede estar ocultando mayor latencia, descarte en una clase o cambios en la ruta de retorno.

31.11 Convertir un cálculo de cola en una observación

En el ejemplo de microburst del taller, 120 Gb/s llegan a una salida de 100 Gb/s durante 2 ms. La diferencia acumula idealmente 5 MB y su drenaje a 100 Gb/s tarda 0,40 ms cuando termina el exceso, si dejan de llegar datos adicionales y hay espacio suficiente. El cálculo no revela cómo reparte memoria un ASIC. Se comprueban recursos compartidos, clase, política de descarte y resolución de telemetría.

El expediente de compra relaciona cada requisito con una función observable: contadores por cola, ocupación máxima, marcado de congestión, capacidades de captura y soporte de ópticas. El laboratorio 58 utiliza el modelo de cola para formular una hipótesis; el ensayo de plataforma debe aportar la telemetría que la confirme o descarte.

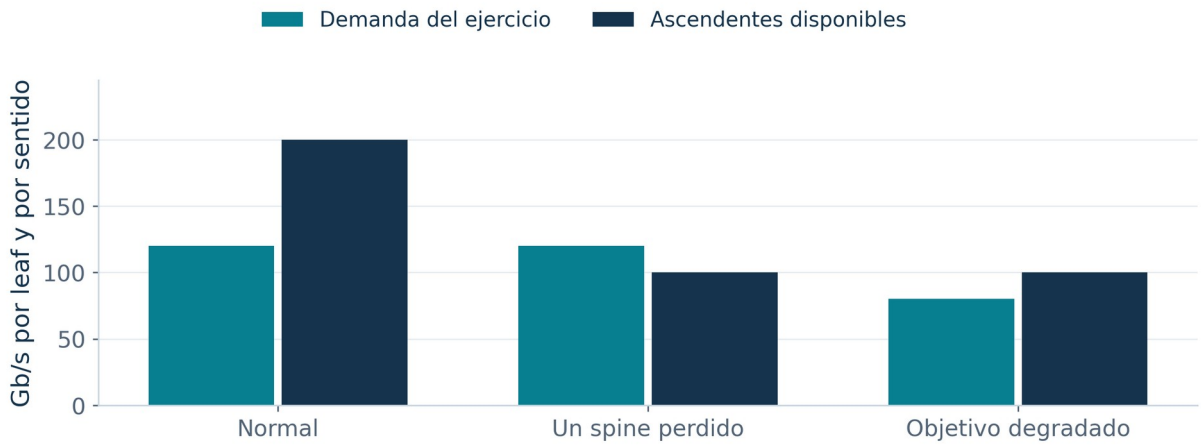


Figura 31.2. Capacidad de un leaf en tres escenarios del ejemplo. Elaboración propia; esquema didáctico.

Entrega del capítulo. Matriz de tráfico con sobresuscripción y observación por cola.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿El diseño refleja el tráfico simultáneo previsto?
2. ¿Las capacidades comparadas usan el mismo sentido y unidad?
3. ¿Un flujo puede utilizar toda la capacidad agregada?
4. ¿Qué capacidad queda al perder un spine o ascendente?
5. ¿Las pruebas observan colas y comportamiento de las aplicaciones?

Capítulo 32 Servidores y almacenamiento

Al terminar este capítulo, el lector podrá Separar límites de red bus procesamiento y persistencia.

Términos esenciales. NIC = interfaz de red del host; NUMA = arquitectura de acceso no uniforme a memoria.

El servidor y el almacenamiento son parte del recorrido que se mide. Una interfaz rápida puede quedar limitada por CPU, memoria, PCIe, controladores o discos. Para interpretar una transferencia hay que conocer qué genera y recibe los datos y qué trabajo ejecuta cada extremo.

Seguimos NIC, HBA, SmartNIC y DPU, junto con Ethernet y Fibre Channel. El objetivo es diseñar una conectividad compatible con la plataforma y preparar pruebas que distingan limitaciones de red y de extremos. El resultado de una aplicación debe relacionarse con sus recursos y condiciones de ejecución.

32.1 Reconstruir el camino de datos dentro del host

El tráfico entra por una interfaz y se relaciona con buses, memoria, procesadores y software. El almacenamiento añade controladores, caché y dispositivos persistentes. El camino puede cambiar con virtualización, contenedores o funciones de descarga. La ficha del host debe representar los componentes que participan en la prueba.

Se comprobarán ranura, ancho de enlace negociado y relación con procesadores y memoria. Una tarjeta admitida por el servidor puede funcionar con un enlace interno de menor capacidad que el previsto. También se revisarán firmware y controladores compatibles con las funciones utilizadas.

La proximidad entre interfaz y recursos de procesamiento puede influir en el resultado. Deben conservarse afinidades y configuración cuando sean relevantes. El ensayo debe poder repetirse sobre la misma plataforma o describir qué cambió al comparar resultados de hosts diferentes.

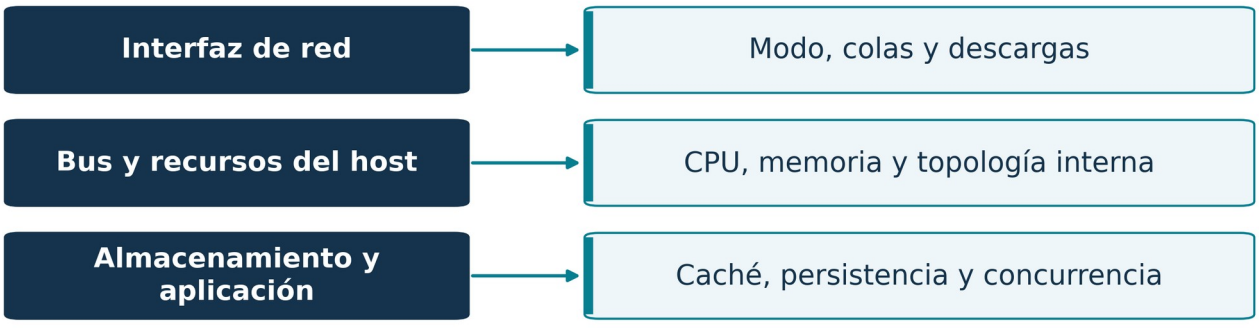


Figura 32.1. El camino de datos continúa dentro de los extremos. NIC, bus, memoria, CPU y almacenamiento pueden imponer límites distintos de los de la red. Elaboración propia.

32.2 Distinguir NIC HBA SmartNIC y DPU

Una NIC proporciona una interfaz de red y puede incorporar descargas de procesamiento según su implementación. Una HBA conecta el host con una infraestructura de almacenamiento compatible, por ejemplo una fabric Fibre Channel. La ficha debe identificar protocolo y funciones admitidas; los nombres de familia no fijan por sí solos el comportamiento.

Las SmartNIC y DPU pueden añadir procesamiento y servicios que descargan funciones del host. Debe comprobarse qué tareas ejecuta cada producto, cómo se administra y qué recursos utiliza. Esa capacidad añade otra configuración, firmware y soporte que deben integrarse al expediente de la plataforma.

Las funciones de descarga modifican lo que observan contadores y capturas. Una captura del sistema operativo puede presentar datos agregados o tratados antes de transmitirse por el medio. El diagnóstico debe conocer el punto de observación y evitar interpretar toda representación del host como una trama física capturada en la red.

Tabla 32.1. Distinguir NIC HBA SmartNIC y DPU

Recurso	Qué debe comprobarse	Posible efecto en una prueba
Interfaz y controlador	Modo, colas, firmware y descargas.	Tasa, CPU y representación de paquetes.
Bus y topología interna	Ancho negociado y recursos compartidos.	Límite de transferencia y variabilidad.
CPU y memoria	Carga, afinidad y capacidad disponible.	Generación y recepción insuficientes.
Almacenamiento	Controlador, caché y dispositivos.	Límite de lectura o escritura.
Software de aplicación	Concurrencia, buffers y persistencia.	Resultado distinto de la capacidad de red.

32.3 Relacionar Ethernet con servicios de almacenamiento

Ethernet puede transportar aplicaciones de archivos, objetos y bloques mediante protocolos diferentes. Deben distinguirse servicio de almacenamiento, transporte y aplicación del cliente. La latencia y concurrencia requeridas pueden variar entre una copia de respaldo, una base de datos y una carga distribuida.

RFC 7143 define iSCSI como transporte de SCSI sobre TCP. NVM Express publica especificaciones distintas para transportes NVMe sobre TCP y sobre RDMA. Estas alternativas necesitan equipos y configuraciones compatibles; no son nombres intercambiables de una misma prueba. [146, 147] [148]

La selección revisará aislamiento, capacidad, recuperación y observación. Una red compartida con otras aplicaciones necesita comprobar su comportamiento concurrente. La existencia de una VLAN de almacenamiento no reserva por sí sola ancho de banda ni elimina dependencia de los mismos enlaces y colas.

32.4 Comprender la fabric Fibre Channel

Una red Fibre Channel utiliza interfaces, switches y mecanismos propios de la fabric. Deben identificarse puertos, enlaces y destinos de almacenamiento. La documentación distinguirá su protocolo de las aplicaciones Ethernet que puedan coexistir en el mismo data center. La semejanza de conectores ópticos no implica interoperabilidad.

El diseño debe relacionar acceso a targets con controles de la fabric y del almacenamiento. La conectividad permitida y la presentación de recursos al host son tareas complementarias. También se revisarán crédito y capacidad de los enlaces en relación con distancia, carga y aplicación.

Las fabrics A y B pueden proporcionar caminos alternativos si el host y el almacenamiento implementan la recuperación prevista. Dos puertos de una misma tarjeta conservan dependencias del dispositivo. El análisis debe incluir adaptadores, switches, controladores, alimentación y la política de multipathing.

32.5 Diseñar acceso respaldo y recuperación

El tráfico de respaldo puede competir con producción y con replicación. El plan debe identificar ventanas, volumen y tiempo de terminación requerido. La capacidad necesaria se calculará con datos útiles y con las condiciones de almacenamiento, además de la velocidad de las interfaces.

La redundancia debe comprobarse mediante pérdida de caminos compatibles con el escenario. El host puede conservar acceso mientras una aplicación experimenta pausas o cambia su tasa. La aceptación debe observar operaciones y recuperación con los límites acordados, conservando tiempos y errores.

La consistencia y persistencia pertenecen al servicio de almacenamiento y a la aplicación. Una copia transmitida no demuestra por sí sola que quedó persistida o que puede recuperarse correctamente. Las pruebas de datos deben coordinarse con los responsables de plataforma y con sus condiciones de integridad.

32.6 Preparar pruebas que separen red y extremos

Primero se definirá si se mide red, almacenamiento o aplicación. Para explorar red pueden utilizarse generadores y receptores que reduzcan dependencia de discos, siempre con capacidad suficiente. Después se incorporará el almacenamiento y la carga real para observar el comportamiento del servicio completo.

En una interfaz de 100 Gb/s, dividir por ocho produce 12,5 GB/s decimales antes de descontar las sobrecargas pertinentes. Esa conversión no promete una transferencia de archivos a esa tasa. La comparación debe usar la misma unidad y distinguir datos útiles de bits de línea.

Se conservarán tamaño de datos, número de procesos, concurrencia, caché, uso de CPU y lecturas o escrituras. Los datos procedentes de caché y los persistidos en discos representan condiciones diferentes. La duración y el volumen deben elegirse para evaluar la condición que se quiere aceptar.

32.7 Caso de una copia lenta con red disponible

En un caso ficticio, un circuito de 100 Gb/s parece insuficiente porque una copia entrega 3 GB/s. Una prueba de memoria a memoria, con extremos adecuados, alcanza una tasa mayor. La observación del destino encuentra un límite de escritura cercano a la tasa de la copia.

El equipo revisa almacenamiento, caché, concurrencia y condiciones de persistencia antes de modificar la red. Después repite la aplicación con la configuración corregida y conserva ambas clases de prueba. La explicación distingue capacidad de transporte de capacidad de completar escrituras.

La aceptación del circuito y la de la aplicación quedan relacionadas, con alcances distintos. El caso muestra que una transferencia lenta necesita evidencias de toda la cadena. La velocidad del puerto por sí sola no identifica dónde se limita el resultado.

32.8 Preparar la ficha de extremos y almacenamiento

1. Host, interfaces, buses y topología interna.
2. Firmware, controladores y funciones de descarga.
3. Protocolos y destinos de almacenamiento.
4. Capacidad, caché, concurrencia y persistencia.
5. Caminos alternativos y recuperación.
6. Montajes de prueba, métricas y resultados comparables.

32.9 Localizar el límite dentro del servidor

El camino de datos se registra como una secuencia concreta: puerto de red, NIC, enlace PCIe, dominio de memoria, CPU y proceso; en almacenamiento se añade sistema de archivos, controlador y medio persistente. Para cada tramo se identifica el recurso compartido y su unidad de capacidad. Un valor de Gb/s de la NIC debe convertirse antes de compararlo con GB/s de memoria o almacenamiento.

Tabla 32.2. Localizar el límite dentro del servidor

Observación del ejercicio	Hipótesis a contrastar	Prueba que separa causas
Memoria a memoria rápida y escritura lenta	Almacenamiento o persistencia	Comparar escritura con finalización persistente y telemetría del medio
Una CPU saturada y enlace ocioso	Procesamiento o afinidad	Conservar el flujo y revisar CPU, colas y distribución de interrupciones
Una dirección lenta	Ruta, receptor o política asimétrica	Invertir emisor y receptor con configuración comparable
Más flujos aumentan la tasa	Límite de sesión o reparto	Comparar una sesión y agregado sin cambiar el objeto aceptado
La lectura se acelera en la repetición	Efecto de caché	Declarar estado de caché y repetir el escenario solicitado

32.10 Comparar el bus con la aplicación

Una NIC ficticia de 200 Gb/s equivale a 25 GB/s decimales nominales por sentido antes de sobrecargas. Dos NIC suman 50 GB/s nominales; esa cuenta necesita comprobar la negociación PCIe y los recursos que comparten. Como ejercicio, si un enlace PCIe emplea 16 GT/s por carril, 16 carriles y codificación 128/130, la cota tras esa codificación es aproximadamente 31,51 GB/s por sentido antes de sobrecargas de transacción. Una aplicación de 50 GB/s que dependa de ese único enlace excedería la cota calculada.

El ejemplo muestra una operación dimensional; no especifica un servidor ni permite inferir la tasa útil de cualquier PCIe. La ficha de campo conserva generación y ancho realmente negociados, topología, NUMA, controladores y funciones activas. Un slot de una longitud física no acredita el mismo número de carriles eléctricos disponibles.

32.11 Aceptar almacenamiento con integridad y persistencia

El plan distingue lectura, escritura, tamaño de bloque, profundidad de cola, mezcla y concurrencia. Se describe cuándo una operación se considera completada y cómo se demuestra que el dato persiste tras el escenario de falla acordado. La tasa en caché se conserva como resultado de ese estado; no se transforma en desempeño sostenido del medio.

Para Faro se prepara un conjunto con contenido verificable y se conserva su suma de comprobación antes y después. La aceptación exige recuperar un estado válido, además de completar la transferencia. El ejemplo de 120 TB a 60 GB/s tarda idealmente 2000 s en el dominio interno de almacenamiento. Si esos mismos 120 TB atravesaran un servicio externo de 40 Gb/s, la cota ideal sería 24 000 s, equivalentes a 6 h 40 min, antes de otras limitaciones. Cambiar de dominio modifica por completo la comparación.

1. Documentar la topología y el objeto que produce los datos.
2. Medir red entre memorias con extremos suficientemente capaces.
3. Añadir cifrado, procesamiento o persistencia de uno en uno y conservar la telemetría correspondiente.
4. Ejecutar el trabajo simultáneo solicitado y el escenario de recuperación.
5. Cerrar con tasa, duración, integridad, estado de caché y restricciones del resultado.

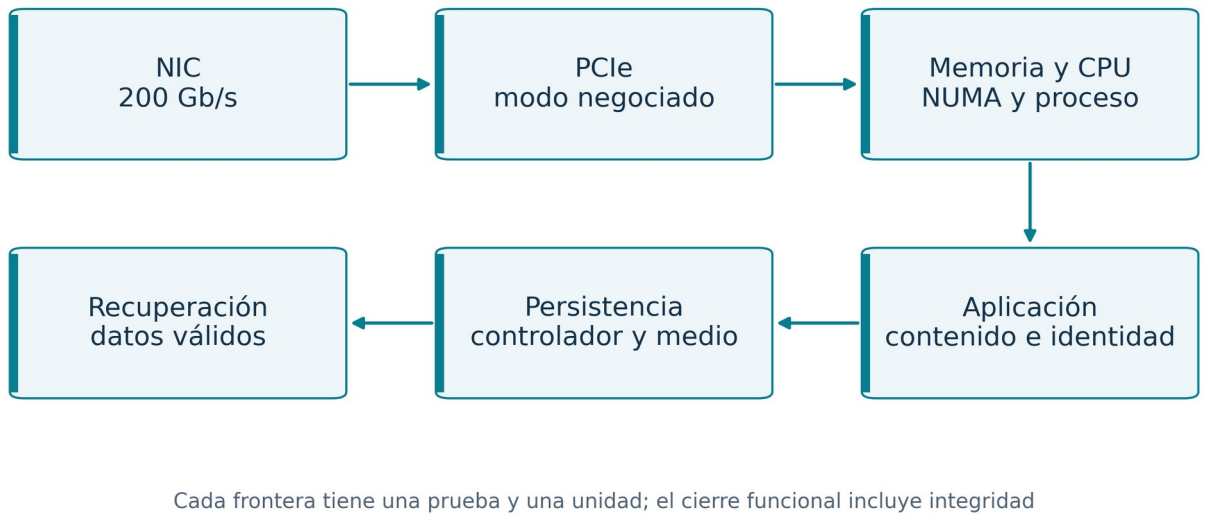


Figura 32.2. Fronteras de prueba dentro de un extremo y su almacenamiento. Elaboración propia; esquema didáctico.

Entrega del capítulo. Escalera de pruebas desde memoria hasta dato persistente.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué componentes del host participan en el resultado?
2. ¿La interfaz interna funciona con el ancho previsto?
3. ¿Se distingue transporte de red y servicio de almacenamiento?
4. ¿La redundancia conserva funcionamiento de la aplicación?
5. ¿Las pruebas identifican el efecto de discos y caché?

Capítulo 33 Equipamiento de redes para IA

Al terminar este capítulo, el lector podrá Relacionar GPU NIC topología y carga distribuida.

Términos esenciales. Rank = participante del trabajo distribuido; RDMA = acceso remoto directo a memoria.

Una plataforma de IA combina cómputo, memoria, red y almacenamiento. La cantidad de GPU y la velocidad de sus enlaces no bastan para describir la capacidad de ejecutar una carga distribuida. Deben conocerse comunicaciones entre participantes, acceso a datos y sincronización de las operaciones.

Estudiamos servidores GPU, adaptadores, switches y enlaces para Ethernet, RoCE e InfiniBand según arquitectura. La decisión será especificar una plataforma compatible y verificable, con soporte de energía y refrigeración. Las pruebas de la parte de desempeño evaluarán después tanto la red como la carga de trabajo.

33.1 Separar redes y relaciones de la plataforma

El diseño identificará acceso de aplicaciones y usuarios, comunicaciones de cómputo, almacenamiento y gestión. Esas funciones pueden utilizar recursos separados o compartidos según requisitos. La representación debe permitir reconocer qué tráfico compite por un enlace y qué depende de la misma infraestructura.

Las interconexiones de proximidad entre GPU y las redes entre nodos pueden tener tecnologías y ámbitos diferentes. El límite de un nodo o un rack depende de la arquitectura. No se atribuirá a toda conexión exterior la prestación de una interconexión interna ni se sumarán sus capacidades como si fueran un único recurso.

La matriz de demanda incluirá cantidad de participantes, tamaño de mensajes, frecuencia de intercambio y carga de almacenamiento. Las operaciones colectivas pueden generar simultaneidad distinta de la de una transferencia aislada. El equipo debe traducir esa demanda a caminos y capacidad antes de elegir puertos.



Figura 33.1. Dominios funcionales de una plataforma de IA. Cómputo, datos, acceso y gestión deben relacionarse con recursos físicos y condiciones de operación. Elaboración propia.

33.2 Seleccionar servidor adaptadores y topología interna

El servidor debe revisarse como un conjunto de GPU, procesadores, memoria, buses y adaptadores. La ubicación de la NIC y su relación con los recursos utilizados puede influir en capacidad y latencia. El diseño conservará modelos, versiones y restricciones de la plataforma, incluidos los modos admitidos.

NVIDIA documenta requisitos y limitaciones de GPUDirect RDMA relacionados con la topología PCIe y el software. Esa posibilidad de intercambio directo necesita una plataforma compatible; no se deduce solamente de tener una GPU y una NIC rápidas. La aceptación debe comprobar la función que realmente se activa. [149]

Las descargas y DPU deben administrarse con su propio ciclo de soporte. También se revisará cómo observa el sistema errores y utilización. La configuración de afinidad, controladores y bibliotecas debe conservarse con los resultados para que una actualización no transforme una comparación de red en una comparación de extremos diferentes.

33.3 Elegir Ethernet con RoCE según el diseño

RoCE permite utilizar operaciones RDMA sobre Ethernet. La versión y la arquitectura deben identificarse, incluidas las condiciones de encaminamiento y control de congestión. Los extremos necesitan soporte compatible y una configuración coherente con switches y prioridades del recorrido.

La documentación de Cumulus Linux 5.10 muestra modos con ECN y opciones con o sin PFC. Es un ejemplo concreto que impide tratar una receta única como requisito de toda red RoCE. Deben seguirse la arquitectura y las versiones soportadas para la plataforma seleccionada. [145]

ECN señala congestión para que los extremos respondan mediante mecanismos compatibles. PFC pausa tráfico por prioridades según la implementación. El diseño debe definir clases, colas, buffers y observación; activar una función sin comprobar su alcance puede trasladar congestión o afectar otros servicios. Los parámetros se validarán con carga representativa.

Tabla 33.1. Elegir Ethernet con RoCE según el diseño

Dominio	Componentes que se seleccionan	Resultado que debe verificarse
Cómputo distribuido	GPU, adaptadores, switches y bibliotecas.	Intercambio entre participantes y escalabilidad.
Almacenamiento	Interfaces, red y servicio de datos.	Lectura, escritura y recuperación bajo carga.
Acceso de aplicación	Bordes, servicios y seguridad.	Entrega a usuarios y plataformas externas.
Gestión	Consolas, administración y supervisión.	Acceso de recuperación y diagnóstico.

33.4 Comprender InfiniBand y su administración

InfiniBand utiliza una fabric con componentes y mecanismos propios que deben comprobarse como solución. Los adaptadores, switches y cables necesitan modos y compatibilidad admitidos. La infraestructura óptica pasiva puede participar en algunos recorridos, pero debe respetar las interfaces y el presupuesto correspondientes.

NVIDIA describe el subnet manager como responsable de funciones de inicialización, direccionamiento y rutas dentro de una subred InfiniBand. La administración y su continuidad deben incorporarse al

diseño. La presencia de switches no significa que todas las funciones de la fabric estén disponibles o correctamente configuradas. [150]

La elección frente a Ethernet debe considerar carga, software, operación y recursos disponibles. No existe una conclusión universal basada únicamente en el nombre de la tecnología. La prueba debe evaluar la plataforma y los objetivos del proyecto, con escenarios y tamaños de mensajes relevantes.

33.5 Dimensionar enlaces y capacidad de la fabric

La demanda debe relacionarse con enlaces por nodo, cantidad de nodos y caminos entre grupos. Se revisará sobresuscripción normal y durante pérdida de equipos o enlaces. La conectividad de todos los participantes no demuestra que puedan intercambiar simultáneamente el volumen requerido.

Las distintas comunicaciones pueden tener cuellos de botella diferentes. Una carga puede depender de leer conjuntos de datos y otra de sincronizar participantes. La capacidad de almacenamiento, cómputo y fabric debe evaluarse conjuntamente. La ampliación de GPU puede incrementar demanda de red sin modificar el número de aplicaciones externas.

La comparación de velocidades debe conservar sentido, carriles y alcance. Un valor agregado de varias interfaces no es la tasa de un flujo ni el resultado de una operación colectiva. El informe debe explicar qué mide cada cifra y bajo qué configuración se obtuvo.

33.6 Coordinar energía refrigeración y soporte

La plataforma debe entregar perfiles de potencia, disipación y condiciones de operación de servidores, adaptadores y switches. También se revisarán ópticas y densidad de puertos. La instalación necesita capacidad inicial, de crecimiento y de mantenimiento, conforme al diseño del edificio.

Las rutas de cables deben permitir el flujo de aire y el mantenimiento de equipos, y coordinarse con soluciones de refrigeración líquida cuando existan. Las intervenciones de red pueden necesitar acceso a zonas y elementos de otra especialidad. Los procedimientos deben resolver esas interfaces antes de operar la plataforma.

El soporte incluirá repuestos, versiones y conocimiento especializado. Una sustitución de adaptador o firmware puede cambiar modos y compatibilidad. La plataforma necesita una configuración de referencia y pruebas proporcionadas al cambio para conservar desempeño y capacidad de diagnóstico.

33.7 Caso de enlaces activos y trabajo distribuido lento

En un caso ficticio, todos los puertos de un clúster están activos y una transferencia simple entrega una tasa favorable. Una operación colectiva con muchos participantes se degrada cuando aumenta la concurrencia. La revisión encuentra congestión y diferencias de configuración en parte del recorrido.

El equipo conserva la carga y compara rutas, colas y señales de congestión con la topología de los hosts. También revisa interfaces y bibliotecas utilizadas. La corrección se valida con grupos pequeños y con la escala objetivo, sin sustituir la prueba de trabajo distribuido por una única transferencia.

La aceptación registra el resultado de la carga y las condiciones de la fabric. El caso demuestra que enlaces activos y tasas nominales son entradas del análisis. El desempeño de IA necesita una comprobación de comunicaciones, extremos y aplicación trabajando conjuntamente.

33.8 Preparar la ficha de equipamiento para IA

1. Carga, participantes y comunicaciones.
2. Servidor, GPU, adaptadores y topología interna.
3. Tecnología de fabric y versiones compatibles.
4. Capacidad, colas y escenarios de falla.
5. Energía, refrigeración y mantenimiento.
6. Configuración de referencia, soporte y pruebas a escala.

33.9 Construir el inventario de una plataforma de 128 GPU

La plataforma de Faro contiene 16 nodos con ocho GPU por nodo. En el ensayo se utiliza un proceso participante por GPU, por lo que son 128 ranks. Cada nodo dispone de cuatro interfaces de 200 Gb/s: 800 Gb/s o 100 GB/s nominales por sentido antes de sobrecargas. El inventario necesita además mostrar a qué GPU, CPU y puentes PCIe puede acceder cada interfaz y cómo se reparten las comunicaciones entre nodos.

Tabla 33.2. Construir el inventario de una plataforma de 128 GPU

Dominio	Objeto que se identifica	Resultado que se exige
Dentro de un nodo	GPU, memoria e interconexiones locales	Corrección y tiempo de comunicaciones locales
Entre nodos	NIC, switches, ópticas y caminos	Colectivas a la escala y colocación acordadas
Almacenamiento	Lectores, escritores, controladores y cachés	Entrada de datos y checkpoints con concurrencia
Gestión	Administración, planificador y acceso de emergencia	Poder observar e intervenir durante una falla

33.10 Relacionar congestión con avance del trabajo

Para un diseño RoCE se documenta la relación entre la aplicación, las marcas de prioridad, las colas de cada salto y la reacción de los emisores a congestión. ECN y PFC se estudian con sus funciones y límites propios. Las decisiones se toman con la arquitectura y las versiones de la plataforma seleccionada; se conserva la configuración de referencia y una prueba que observe si los participantes reducen carga y progresan.

El laboratorio introduce carga concurrente y registra duración de colectivas, errores, colas y señales de congestión con una referencia temporal común. Si aumentan las pausas de una prioridad, se revisan propagación y efecto sobre otras comunicaciones. Un contador aislado de marcas no demuestra que la respuesta del emisor sea correcta, ni que el trabajo completo termine dentro del objetivo.

33.11 Escalar el ensayo sin extrapolar resultados de grupos pequeños

Se empieza con comunicaciones locales, se pasa a pares de nodos y después a grupos colocados en distintos racks y dominios de la fabric. Cada salto de escala mantiene tamaño de mensaje, operación, versión y regla de corrección. El orden de las GPU y la afinidad quedan registrados. Cuando el

comportamiento cambia, se compara un grupo afectado con otro de referencia para localizar el alcance.

La serie simulada del kit contiene AllReduce con 8, 16 y 128 ranks. Para 128 ranks y 1000 millones de bytes por rank, reducir el tiempo de 150 a 60 ms eleva algbw de 6,667 a 16,667 GB/s. El factor 2(n−1)/n es 1,984375 y busbw pasa aproximadamente de 13,229 a 33,073 GB/s. Son métricas derivadas de esa operación; la tasa no se atribuye a un único puerto ni se multiplica por el número de GPU para anunciar capacidad física.

La prueba de 60 ms cumple el umbral didáctico de 65 ms para esa configuración. El cierre de la plataforma necesita también entrada de datos, persistencia de checkpoints, corrección y recuperación. Se registra el tiempo de entrenamiento o de la tarea representativa de forma independiente; una mejora de la colectiva no fija por sí sola la mejora del trabajo completo.

Entrega del capítulo. Inventario y plan de aceptación por escalas.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué tráfico corresponde a cómputo, almacenamiento y acceso?
2. ¿La topología interna admite las funciones previstas?
3. ¿La configuración de congestión corresponde a la plataforma?
4. ¿Se ha previsto administración y recuperación de la fabric?
5. ¿La aceptación representa la escala y carga objetivo?

Parte 7 Protocolos y servicios de interconexión

Sobre la infraestructura se organizan redes y servicios. El recorrido lógico requiere direccionamiento, políticas, interconexión y dependencias de aplicación que deben vincularse con el plano físico.

Capítulo 34 Ethernet y direccionamiento IP

Al terminar este capítulo, el lector podrá Comprobar etiquetas direccionamiento aislamiento y MTU.

Términos esenciales. VLAN = dominio Ethernet identificado; MTU = tamaño máximo de unidad en una capa declarada.

Ethernet y direccionamiento IP convierten enlaces físicos en conectividad utilizable. Cada servicio necesita identificar qué puede intercambiar tramas, qué necesita encaminamiento y qué políticas permiten llegar al destino. Un puerto activo solo confirma una parte de esa cadena.

En este capítulo construimos la ficha lógica que acompaña a las fibras y equipos. Relacionamos VLAN, IPv4, IPv6, VRF, MTU y agregación con capacidad y pruebas. El resultado debe permitir activar, diagnosticar y modificar una conexión sin depender de configuraciones recordadas de memoria.

34.1 Relacionar el puerto físico con el servicio

El registro del puerto identificará equipo, interfaz, velocidad, medio, modo y estado. En otra relación se describirán servicios, etiquetas y direcciones. Esa separación permite representar un puerto que transporta varias conexiones lógicas y un servicio que utiliza varios puertos.

La velocidad del puerto, la tasa contratada y los datos útiles son magnitudes diferentes. Un acceso de 100 Gb/s puede entregar un servicio limitado a 20 Gb/s. La ficha debe indicar dónde se aplica el perfil y cómo se medirá, incluyendo tamaño de trama y sentido del tráfico.

El diagnóstico avanzará desde estado físico y errores hacia clasificación, aprendizaje, direcciones y rutas. La ausencia de errores ópticos no resuelve una etiqueta incorrecta. Deben conservarse evidencias por capa para ubicar el problema sin cambiar simultáneamente todos los parámetros.

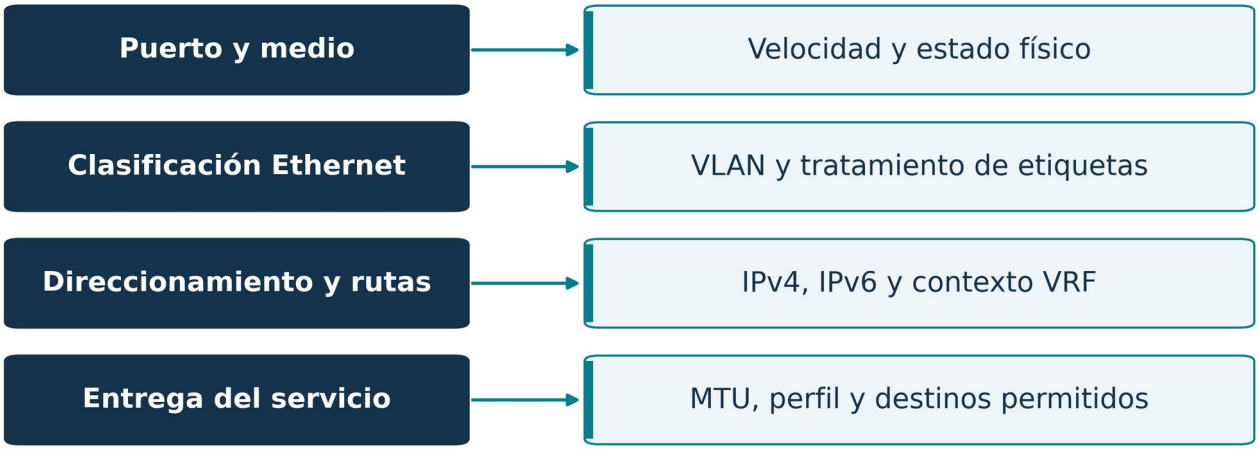


Figura 34.1. Relación entre infraestructura y servicio lógico. La entrega requiere coherencia entre puerto, clasificación, direccionamiento y políticas. Elaboración propia.

34.2 Organizar dominios Ethernet y VLAN

IEEE 802.1Q describe puentes y redes con VLAN. En el proyecto, la asignación de una VLAN debe relacionar interfaces, pertenencia y tratamiento de etiquetas. La numeración local no expresa por sí sola el servicio que existe al otro extremo. [151]

Se documentará si cada conexión recibe tráfico etiquetado o sin etiqueta y cómo lo presenta al siguiente dominio. Cuando un proveedor transforma identificadores o añade encapsulación, la correspondencia debe aparecer en ambas demarcaciones. Un nombre común de servicio no demuestra que las etiquetas sean idénticas.

La ampliación de dominios de capa 2 debe responder a un requisito concreto y considerar bucles, difusión y alcance de una falla. La capacidad de conectar dos salas no obliga a extender todas las VLAN entre ellas. La aceptación verificará aislamiento y destinos permitidos, además de conectividad positiva.

Tabla 34.1. Organizar dominios Ethernet y VLAN

Objeto	Dato que se registra	Comprobación de entrega
Puerto	Modo, velocidad y medio.	Estado y errores bajo carga.
VLAN	Etiquetas y tratamiento por extremo.	Clasificación y aislamiento.
Subred IP	Prefijo, gateway y asignaciones.	Vecinos y alcance esperado.
VRF	Instancia y rutas permitidas.	Separación y filtrado.
MTU	Capa, unidad y límite por tramo.	Paquetes con tamaños representativos.
Agregación	Miembros y política operativa.	Capacidad y pérdida de un miembro.

34.3 Planificar IPv4 e IPv6

El plan de direcciones asignará prefijos, gateways y reservas con propietario y finalidad. Distinguirá producción, almacenamiento, gestión y enlaces de infraestructura según el diseño. El IPAM deberá impedir duplicados incompatibles y conservar historial de cambios.

IPv4 e IPv6 pueden coexistir, pero cada familia necesita su comprobación de vecinos, rutas, seguridad y servicios auxiliares. Que una aplicación funcione por IPv4 no acredita su funcionamiento por IPv6. La prueba identificará qué familia y qué dirección fueron realmente utilizadas.

RFC 8200 fija los fundamentos de IPv6, incluida una MTU mínima de enlace de 1280 octetos y el tratamiento de fragmentación por el origen. Para operar el servicio se revisarán también descubrimiento de vecinos y mensajes ICMPv6 necesarios, de acuerdo con la política de seguridad. [152]

34.4 Separar tablas de rutas mediante VRF

Una VRF permite mantener un contexto de encaminamiento separado según la implementación. El proyecto identificará qué interfaces y rutas pertenecen a cada instancia. Las direcciones pueden solaparse entre contextos cuando el diseño lo permite; la identidad del registro debe incluir ese contexto.

La comunicación entre instancias necesita una política explícita. Las fugas de rutas, gateways y servicios compartidos deben documentarse con origen, destino y responsable. La mera existencia de tablas separadas no acredita todos los controles de seguridad de una aplicación.

Las herramientas de prueba deben operar desde el contexto correcto. Una consulta realizada en la tabla global puede dar un resultado distinto del tráfico del cliente. El informe conservará VRF, direcciones de origen, interfaces y permisos utilizados para evitar conclusiones basadas en otro recorrido.

34.5 Coordinar MTU en todo el recorrido

MTU debe acompañarse de una definición: paquete IP, carga Ethernet o trama completa, según la interfaz y el instrumento. Los fabricantes pueden presentar límites con convenciones distintas. Antes de comparar cifras hay que aclarar si cuentan etiquetas, cabeceras y FCS.

Los túneles añaden cabeceras y necesitan capacidad de transporte para el paquete resultante. Una MTU elevada en los servidores no garantiza que todos los enlaces intermedios la admitan. Se calculará el tamaño exterior real y se comprobarán caminos normales y alternativos.

Una prueba con paquetes pequeños puede funcionar mientras transferencias mayores fallan. La aceptación incluirá tamaños próximos al límite previsto y observará mensajes de error y descubrimiento de MTU. Un cambio global de tamaño requiere evaluar todos los servicios que utilizan el recurso.

34.6 Interpretar agregación y capacidad efectiva

IEEE 802.1AX define agregación de enlaces y mecanismos de control asociados. El diseño debe identificar miembros, condiciones para admitirlos y comportamiento frente a fallas. Se verificará la configuración efectiva de ambos extremos y la capacidad superviviente. [153]

En una agregación habitual de dos enlaces de 100 Gb/s, el total nominal puede ser 200 Gb/s. La distribución por conversaciones puede mantener un flujo en un solo miembro. La política concreta depende de la plataforma; no se prometerá a un flujo la suma de todos los enlaces.

La prueba utilizará tanto una conversación como un conjunto representativo. También retirará un miembro de forma controlada y observará interrupción, redistribución y congestión. La tasa que cumple el servicio durante esa condición debe formar parte de su capacidad aceptada.

34.7 Caso de una conexión activa sin servicio completo

En un caso ficticio, una conexión entre salas presenta puertos activos y responde a una prueba pequeña. Las transferencias de una aplicación fallan después de añadir un túnel. El análisis encuentra que un tramo no admite el tamaño exterior generado.

El equipo conserva el montaje, identifica el tamaño por capa y corrige el diseño compatible con todos los caminos. Después repite tamaños, carga y conmutación. La fibra y el puerto mantienen sus propios resultados de aceptación; se añade la evidencia del recorrido lógico corregido.

34.8 Completar la ficha lógica de conexión

1. Puertos, modos y velocidades físicas.
2. Servicios, perfiles y etiquetas por demarcación.
3. Direcciones, prefijos, gateways y contextos VRF.
4. MTU definida por capa y encapsulaciones.
5. Agregaciones, capacidad normal y de contingencia.
6. Pruebas positivas, aislamiento y configuración final.

34.9 Especificar la MTU y el plano donde se cuentan bytes

La ficha separa tamaño de paquete IP, trama Ethernet y ocupación del medio. Para el ejercicio IPv4 sin opciones, ICMP Echo añade ocho bytes y la cabecera IP veinte. Un payload ICMP de 1472 bytes produce un paquete IP de 1500; con MTU IP de 1400 el payload correspondiente es 1372. La prueba declara familia IP y ausencia de opciones. IPv6 utiliza otra cabecera y necesita su propio cálculo.

En Faro, 100 Gb/s físicos y CIR de 40 Gb/s son condiciones distintas del mismo acceso. El taller Ethernet utiliza 1024 bytes de trama con FCS según la convención declarada; una herramienta TCP cuenta datos de aplicación. Antes de comparar resultados se identifica qué bytes entran en numerador y qué intervalo en denominador. Los cálculos de tasa no sustituyen la especificación de contabilización contratada.

34.10 Preparar un laboratorio Linux aislado

El kit incluye laboratorio_mtu.sh para una máquina Linux de enseñanza con iproute2 e iputils. Crea únicamente dos espacios de nombres de red y un par veth; no incorpora interfaces físicas ni ruta por defecto. Requiere privilegios para esos objetos. Primero se prueba MTU 1500, después 1400 y finalmente se retiran los objetos creados. Los comandos se entregan como práctica para ese entorno; el ensayo de análisis de datos del kit funciona sin privilegios. [226]

```
ip netns add faroA
ip netns add faroB
ip link add fa0 type veth peer name fb0
ip link set fa0 netns faroA
ip link set fb0 netns faroB
ip -n faroA addr add 192.0.2.1/30 dev fa0
ip -n faroB addr add 192.0.2.2/30 dev fb0
ip -n faroA link set lo up
ip -n faroB link set lo up
ip -n faroA link set fa0 up
ip -n faroB link set fb0 up
ip netns exec faroA ping -c 3 -M do -s 1472 192.0.2.2
```

La segunda parte reduce la MTU en ambos extremos a 1400 y compara payloads de 1372 y 1373 bytes con la opción de no fragmentar. El primero cabe y el segundo excede la MTU local de este montaje. Se conserva salida, código de retorno y versión de las herramientas. El resultado ilustra límites locales de tamaño; no identifica la MTU de un servicio exterior.

34.11 Verificar VLAN y VRF con pruebas positivas y negativas

Una matriz sencilla asigna al cliente X VLAN 100 y al cliente Y VLAN 200. La prueba positiva verifica el alcance contratado dentro de cada servicio; la negativa intenta un destino que debe permanecer aislado. Para una VRF se consulta su tabla y el encaminamiento utilizado por el paquete, además de la tabla global. Direcciones repetidas en dos VRF requieren consultar el contexto correcto.

Se comprueban ambas direcciones y la continuidad del aislamiento después de una conmutación. Un puerto activo puede seguir presentando errores de etiquetado, vecindad, ruta o política. El diagnóstico registra la última frontera que recibió correctamente el paquete y la primera que deja de entregarlo; el árbol del capítulo 59 organiza esa búsqueda.

Entrega del capítulo. Ficha lógica y pruebas positivas y negativas.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La tasa contratada está separada de la velocidad de puerto?
2. ¿Se conocen etiquetas y transformaciones en ambos extremos?
3. ¿Las dos familias IP se han comprobado por separado?
4. ¿La MTU incluye las encapsulaciones del recorrido?
5. ¿Qué tasa conserva el servicio al perder un miembro?

Capítulo 35 Underlay y overlay

Al terminar este capítulo, el lector podrá Seguir un paquete entre underlay overlay y destino.

Términos esenciales. VTEP = extremo de encapsulación VXLAN; VNI = identificador del segmento VXLAN.

Una red overlay ofrece conectividad lógica sobre otra red que transporta sus paquetes encapsulados. El underlay debe proporcionar alcance y capacidad entre los extremos de los túneles. Para entender una falla necesitamos conservar ambas representaciones y saber cómo se relacionan con los enlaces físicos.

Estudiamos VXLAN y BGP EVPN como referencias de arquitectura, sin convertir una configuración de fabricante en regla universal. Seguimos un paquete desde su origen hasta el destino y construimos un plan de comprobación que distinga transporte IP, información de control y servicio del cliente.

35.1 Dibujar dos topologías relacionadas

El plano físico mostrará leaf, spine, interfaces y caminos. El plano lógico representará extremos de túnel, segmentos, instancias y gateways. Cada elemento lógico debe tener una ubicación física y una configuración identificable. La superposición gráfica no debe ocultar recursos compartidos.

Una conexión lógica entre dos racks puede utilizar distintos caminos físicos por distribución de tráfico o por una falla. El análisis de continuidad identificará los equipos y enlaces que pueden transportarla, incluyendo las condiciones de capacidad. La diversidad de identificadores lógicos no demuestra separación de recursos.

Se asignarán responsables para underlay, overlay y extremos. Si las funciones pertenecen a equipos distintos, el procedimiento definirá las evidencias que se intercambian. El diagnóstico necesita relacionar una dirección del cliente con los extremos y rutas que la transportan.

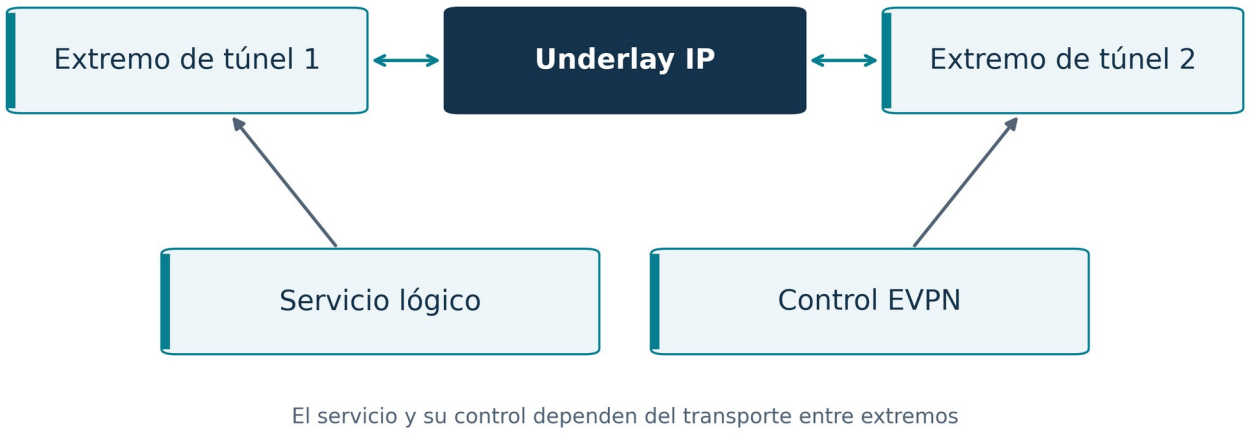


Figura 35.1. Un servicio lógico depende de transporte IP entre extremos de túnel. El plano de control informa cómo alcanzar destinos; los paquetes utilizan el plano de datos. Elaboración propia.

35.2 Comprender la encapsulación VXLAN

RFC 7348 describe VXLAN y el uso de un identificador de segmento de 24 bits. Los extremos encapsulan tráfico Ethernet para transportarlo sobre una red IP. El identificador permite distinguir segmentos, pero su asignación y relación con VLAN deben documentarse según el diseño. [154]

La cabecera exterior utiliza direcciones de los extremos del túnel. El underlay encamina ese tráfico sin necesitar todas las direcciones de los clientes. El extremo receptor elimina la encapsulación correspondiente y entrega el contenido al dominio previsto. El recorrido debe conservar coherencia entre segmento y destino.

La encapsulación consume espacio y recursos. Se comprobarán MTU, capacidad de interfaces y procesamiento con el paquete exterior real. La ficha evitará una cifra universal de sobrecarga sin indicar familia IP, etiquetas y componentes incluidos. La prueba también debe evaluar el camino alternativo de menor capacidad.

35.3 Distinguir transporte y plano de control

El underlay necesita rutas hacia los extremos de túnel. Puede utilizar protocolos y diseños diferentes; la selección debe corresponder al tamaño, operación y recuperación del proyecto. Sus pruebas comprobarán vecinos, alcance, caminos y reacción ante pérdida de enlaces.

RFC 8365 especifica el uso de EVPN para overlays y su relación con encapsulaciones como VXLAN. BGP EVPN distribuye información de alcance utilizada por el servicio. El estado de una sesión de control y la capacidad de reenviar tráfico son observaciones relacionadas que deben verificarse por separado. [155]

Una sesión establecida puede coexistir con políticas de importación incorrectas o con un camino de datos bloqueado. La aceptación debe comprobar destinos y aislamiento desde las interfaces de los clientes. Las rutas anunciadas y recibidas se conservarán como evidencia para explicar el resultado.

Tabla 35.1. Distinguir transporte y plano de control

Plano	Qué se representa	Prueba que ayuda a distinguirlo
Físico	Equipos, enlaces y dominios de falla.	Estado, errores y pérdida controlada.
Underlay	Direcciones y rutas entre extremos.	Alcance IP y caminos disponibles.
Control EVPN	Anuncios, políticas y pertenencia.	Rutas esperadas e importación correcta.
Overlay	Segmentos, gateways y destinos.	Tráfico del cliente y aislamiento.
Aplicación	Sesiones y dependencias.	Transacciones y recuperación real.

35.4 Organizar segmentos gateways y movilidad

La ficha lógica relacionará segmentos de capa 2, subredes, instancias de encaminamiento y gateways. Se indicará dónde ocurre el encaminamiento entre destinos y cómo se aplican las políticas. La misma denominación comercial de red no debe sustituir esa descripción.

La movilidad de una carga exige comprobar que su nuevo punto de conexión queda anunciado y que el tráfico utiliza el destino correcto. Deben revisarse los estados antiguos, el tiempo de actualización y los efectos en sesiones. Cambiar de ubicación una máquina no garantiza continuidad de toda aplicación.

La extensión entre sitios amplía dependencias y alcance de eventos. Antes de extender un dominio se revisarán latencia, capacidad, fallas y requisitos de la plataforma. El diseño debe explicar por qué necesita esa extensión y qué ocurre cuando se pierde la interconexión.

35.5 Seguir un paquete de extremo a extremo

Se elegirá una comunicación concreta con origen, destino, familia IP, segmento y política. Primero se identifica la clasificación de entrada y la decisión local de conmutar o encaminar. Después se identifica el extremo remoto y la información que permite seleccionarlo.

A continuación se reconstruye el paquete exterior y su camino por el underlay. Los contadores deben observar el tráfico correcto y el sentido pertinente. En el destino se comprueba desencapsulación, política y entrega. El retorno se reconstruye de forma independiente porque puede seguir otro camino.

Las capturas y contadores deben describir dónde observan. Una captura del host ve un contenido distinto de la de un enlace de transporte encapsulado. También deben considerarse funciones de descarga. La correlación requiere tiempos y un flujo de prueba reconocible.

35.6 Aceptar capacidad aislamiento y recuperación

El plan comprobará alcance entre extremos, servicio entre clientes, tamaños y carga representativa. Añadirá intentos que deben ser rechazados según la segmentación. Los resultados deben demostrar que el tráfico llega al destino previsto y que no aparece en dominios ajenos.

Las pruebas de falla distinguirán pérdida física, pérdida de alcance del underlay y pérdida del control. Cada escenario puede tener un efecto y tiempo diferentes. Se observarán interrupción, pérdida, duplicación o reordenamiento y capacidad durante recuperación y retorno.

En un caso ficticio, el underlay funciona y todas las sesiones BGP están activas, pero un cliente no alcanza su destino. La revisión identifica una política de importación distinta en un leaf. Tras corregirla se repiten conectividad, aislamiento y conmutación del servicio afectado. La solución queda vinculada a la versión de configuración.

35.7 Preparar el expediente del overlay

1. Topología física y rutas del underlay.
2. Extremos de túnel, segmentos e instancias.
3. Políticas de control y gateways.
4. MTU exterior y capacidad por escenario.
5. Recorrido de paquetes en ambos sentidos.
6. Pruebas de alcance, aislamiento y recuperación.

35.8 Construir el recorrido de un paquete encapsulado

El ejercicio usa dos VTEP con direcciones documentales 192.0.2.11 y 192.0.2.12 y un segmento L2VNI 10100. El underlay debe poder transportar paquetes entre esos VTEP. El overlay relaciona el dominio

del cliente con las MAC y los destinos remotos. El inventario conserva VLAN de acceso, VNI, VRF cuando exista y las rutas de transporte; dos clientes con números similares no se unen por conveniencia de numeración.

Tabla 35.2. Construir el recorrido de un paquete encapsulado

Etapa	Información que se consulta	Comprobación
Host de origen	VLAN y puerta de enlace del cliente	La interfaz pertenece al dominio esperado
VTEP de entrada	MAC local o remota y VNI	El destino se asocia con el VTEP correcto
Underlay	Ruta IP hacia el VTEP remoto	Hay alcance y MTU exterior suficiente
VTEP de salida	VNI, dominio y puerto de destino	Se retira la encapsulación en el servicio correcto
Retorno	Aprendizaje y rutas del otro sentido	El tráfico vuelve sin romper aislamiento

35.9 Leer el plano de control con una referencia concreta

Como referencia de implementación, FRR 10.1 documenta la activación de EVPN, la asociación de VNI y las interfaces Linux que sostienen el transporte. El fragmento siguiente es una adaptación de laboratorio para un vecino previamente alcanzable. No constituye por sí solo una fabric funcional: deben existir interfaces, dominios y rutas coherentes. [222]

```
router bgp 64512
 bgp router-id 192.0.2.11
 neighbor 192.0.2.12 remote-as internal
 address-family l2vpn evpn
  neighbor 192.0.2.12 activate
  advertise-all-vni
 exit-address-family
exit
```

En el expediente de verificación se conservan la sesión, los VNI locales y las rutas EVPN del segmento. Para un destino concreto se relaciona el anuncio con la entrada que realmente utiliza el plano de datos. Se registran versión y configuración; el laboratorio físico o virtual debe seguir la documentación correspondiente a esa versión.

35.10 Resolver una falla con underlay sano

Supóngase que ambos VTEP responden a ICMP, pero los hosts del segmento no se comunican. Se comprueba la pertenencia de los puertos y que el mismo servicio esté asociado con el VNI esperado. Después se revisan anuncios, importación de rutas y programación de la tabla de reenvío. Si los destinos aparecen correctamente, se verifica MTU, encapsulación y políticas en el recorrido de datos.

La comunicación entre VTEP demuestra un alcance IP del underlay; la recepción de rutas EVPN demuestra un estado de control. El cierre requiere tráfico del servicio y aislamiento frente a otros dominios. Si la falla aparece al mover un host se conservan las entradas previas y posteriores y su cronología, en lugar de borrar todas las tablas antes de obtener evidencia.



Figura 35.2. Capas de una encapsulación VXLAN del ejercicio. Elaboración propia; esquema didáctico.

Entrega del capítulo. Mapa de encapsulación y comprobación de control y datos.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Cada extremo lógico tiene una dependencia física identificada?
2. ¿Se distingue alcance IP de funcionamiento del servicio?
3. ¿Qué política importa la información de cada segmento?
4. ¿El retorno y la encapsulación están documentados?
5. ¿Las pruebas incluyen aislamiento y fallas de control?

Capítulo 36 BGP y ecosistema de internet

Al terminar este capítulo, el lector podrá Aplicar políticas de alcance exterior y verificar tráfico efectivo.

Términos esenciales. AS = sistema autónomo; BGP = protocolo de intercambio de información de rutas.

La salida de un data center hacia internet depende de acuerdos y políticas entre redes. El cable y la interfaz habilitan transporte; el alcance de destinos depende también de anuncios, filtros y relaciones comerciales. Para contratar y aceptar conectividad hay que comprender ambos planos.

Seguimos sistemas autónomos, tránsito, peering, IXP y redes de contenido. El objetivo será verificar qué destinos entrega cada relación y qué continuidad conserva la solución. Una lista de carriers presentes en el edificio no sustituye un análisis de rutas, capacidad y dependencias.

36.1 Comprender el sistema autónomo y BGP

Un sistema autónomo representa un dominio de encaminamiento identificado mediante un ASN. RFC 4271 define BGP para intercambiar alcance entre sistemas y aplicar decisiones de política. El camino de sistemas autónomos describe anuncios; no es un plano de cables ni una certificación de diversidad geográfica. [112]

La sesión BGP necesita conectividad, direcciones y parámetros acordados. Después deben existir rutas aceptadas y anunciadas conforme a la finalidad. El estado establecido demuestra funcionamiento de la sesión, pero no acredita por sí solo alcance de todos los destinos requeridos.

El expediente registrará ASN local y remoto, vecinos, familias IP, prefijos propios, políticas y contactos. También indicará quién administra los recursos y qué sucede al cambiar de proveedor. La titularidad y las condiciones de uso deben revisarse con las entidades y contratos correspondientes.

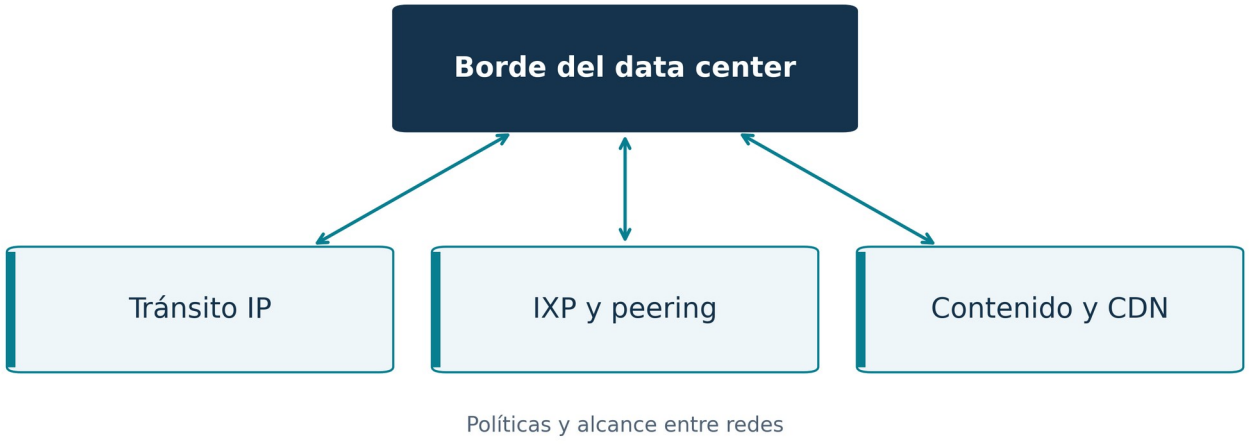


Figura 36.1. Relaciones de alcance exterior de un data center. Tránsito, peering y contenido cumplen funciones distintas y pueden compartir infraestructura. Elaboración propia.

36.2 Distinguir tránsito peering e intercambio

El tránsito ofrece alcance de internet conforme al contrato y a la política del proveedor. Deben verificarse rutas recibidas, capacidad y destinos relevantes. Una ruta por defecto y una tabla más extensa son modalidades de operación distintas que necesitan equipos y criterios compatibles.

El peering intercambia alcance acordado entre redes. Puede realizarse sobre una infraestructura compartida de intercambio o mediante una conexión privada. No debe suponerse que incluye tránsito hacia todo internet. El acuerdo debe precisar qué redes y prefijos se intercambian.

Un IXP facilita interconexión entre participantes, pero pertenecer a él no implica disponer de sesiones con todos. Se revisarán puerto, servicios, participantes y políticas efectivamente habilitados. Un route server puede facilitar intercambios de información sin convertirse por ello en el camino físico de todos los paquetes.

Tabla 36.1. Distinguir tránsito peering e intercambio

Relación	Qué se debe confirmar	Dependencias que se revisan
Tránsito	Alcance contratado y perfiles.	Acceso, equipos y red ascendente.
Peering público	Sesiones y prefijos intercambiados.	Puerto, fabric del IXP y participantes.
Peering privado	Extremos y política bilateral.	Cross connect, equipos y rutas.
Contenido local	Destinos y modalidad de entrega.	Caché, llenado y servicios auxiliares.
Segundo proveedor	Alcance durante falla del primero.	Recursos compartidos y capacidad superviviente.

36.3 Relacionar CDN y presencia de contenido

Una CDN puede acercar contenido y reducir parte del recorrido para determinadas solicitudes. Su efecto depende de disponibilidad del contenido, resolución de nombres y decisiones de la plataforma. La presencia de un nodo no garantiza que todas las aplicaciones o usuarios lo utilicen.

Se distinguirá caché local, conexión con una red de contenido y acceso general a internet. El expediente describirá capacidad de servicio y de llenado cuando corresponda. La prueba debe identificar destino realmente usado y condición de caché para interpretar diferencias de rendimiento.

Los destinos de una aplicación pueden pertenecer a varias redes y regiones. Por eso la aceptación necesita una muestra representativa de servicios. Un resultado favorable contra un nodo cercano no describe el acceso internacional ni los recursos externos que usa la misma aplicación.

36.4 Aplicar políticas y controles de anuncios

La política definirá qué se acepta y exporta por vecino y familia. Debe evitar anuncios ajenos no autorizados y establecer límites operativos. RFC 7454 reúne medidas de protección de sesiones y filtrado que sirven como referencia para construir controles acordes con la red. [156]

La validación de origen basada en RPKI comprueba la autorización del ASN de origen respecto del prefijo según los datos disponibles. RFC 6811 distingue los resultados de validación. Esta función no valida por sí sola todo el camino AS ni acredita el recorrido físico del tráfico. [157]

Los registros y autorizaciones deben mantenerse al cambiar prefijos, ASN o proveedores. El procedimiento evaluará efectos antes de publicar modificaciones y conservará una posibilidad de retorno. Una autorización desactualizada puede perjudicar alcance aun cuando fibra y sesiones permanezcan activas.

36.5 Evaluar diversidad lógica y física

Dos proveedores pueden usar el mismo acceso, estación, cable submarino o proveedor ascendente. La evaluación combinará evidencias físicas y alcance lógico. Cuando una dependencia no pueda comprobarse, se declarará como incertidumbre en lugar de atribuir separación por el nombre comercial.

La política de salida y las decisiones de redes remotas pueden producir caminos asimétricos. Se observarán ambos sentidos y destinos pertinentes. El traceroute ayuda al diagnóstico, pero no demuestra por sí solo el ducto ni la totalidad de la ruta internacional.

La capacidad superviviente incluirá demanda total durante falla. Dos accesos de 10 Gb/s que normalmente transportan 8 Gb/s cada uno no garantizan mantener 16 Gb/s sobre un único acceso. El compromiso debe indicar qué carga conserva y qué degradación admite.

36.6 Caso de dos proveedores con alcance incompleto

En un caso ficticio, el segundo acceso funciona en operación normal y alcanza los destinos de prueba. Al retirar el primero, varios servicios dejan de responder. La investigación encuentra anuncios propios incompletos y una política de retorno que dependía del proveedor retirado.

El equipo corrige anuncios y autorizaciones, selecciona destinos de distintas redes y repite la conmutación bajo carga. Conserva información de rutas, tiempos y resultados de aplicación. La aceptación pasa a comprobar alcance bidireccional durante fallas, además del estado de las sesiones.

36.7 Preparar el expediente de alcance exterior

1. ASN, prefijos, vecinos y familias IP.
2. Tránsito, peering, IXP y contenido habilitado.
3. Políticas, filtros y autorizaciones de origen.
4. Dependencias físicas y lógicas comprobadas.
5. Capacidad y destinos por escenario.
6. Pruebas bidireccionales, contactos e historial.

36.8 Preparar una política eBGP explícita de laboratorio

El ejercicio relaciona AS privado 64512 con AS 64513 sobre 192.0.2.0/30. El primero anuncia únicamente 198.51.100.0/24 y acepta únicamente 203.0.113.0/24. Son direcciones documentales y AS privados para un laboratorio sin enlace a Internet. La ruta que se origina debe existir según los requisitos de la implementación. El fragmento utiliza sintaxis de referencia FRR 10.1; el extremo vecino necesita su configuración correspondiente. [223]

```
ip prefix-list FARO-IN seq 5 permit 203.0.113.0/24
ip prefix-list FARO-OUT seq 5 permit 198.51.100.0/24
router bgp 64512
 bgp router-id 192.0.2.1
 neighbor 192.0.2.2 remote-as 64513
 address-family ipv4 unicast
  network 198.51.100.0/24
  neighbor 192.0.2.2 prefix-list FARO-IN in
  neighbor 192.0.2.2 prefix-list FARO-OUT out
  neighbor 192.0.2.2 maximum-prefix 10
 exit-address-family
exit
```

El límite de diez prefijos pertenece al ejercicio y no se aplica como receta de un servicio real. La configuración completa de los dos extremos está en laboratorios/bgp_frr_10_1.txt. El lector verifica ruta local, sesión, anuncios enviados, anuncios recibidos y tráfico efectivo. La práctica se amplía anunciando un prefijo fuera de la lista y comprobando que la política lo excluye.

36.9 Aceptar alcance y protección de anuncios

La sesión Established es un hito de control. La recepción de un prefijo requiere además que la política lo admita, la selección de ruta sea correcta y el plano de datos lo utilice. Se prueban un destino permitido y otro excluido, se conserva el siguiente salto y se repite en ambos sentidos. Las listas de laboratorio se sustituyen por políticas de prefijos, origen y clientes del proyecto real.

Para el acceso exterior se revisan filtrado de anuncios, límites, comunidades acordadas y tratamiento de validación de origen cuando corresponda. Una política debe explicar qué hace con los distintos estados de validación y cómo se mantiene durante fallas del validador. El diseño evita confundir un estado de origen válido con autenticación del recorrido físico; los riesgos de ductos y backhaul permanecen en su matriz propia.

36.10 Medir los efectos de una alternativa exterior

El plan de Faro conserva destinos representativos y requisitos de aplicación cuando cambia de carrier. Se registra cuándo cambia el tráfico, cuánto dura la interrupción observable y qué régimen de latencia y pérdida queda después. La existencia de dos anuncios o dos AS no aporta, por sí sola, información sobre puentes, cámaras o sistemas submarinos comunes.

El estudio público de los cortes bálticos de noviembre de 2024 muestra por qué merece la pena conservar esas dos perspectivas. RIPE Labs observó aumentos de latencia en una parte de los caminos medidos, con continuidad desde sus puntos de observación. La ficha de evidencia del capítulo 56 utiliza ese estudio como ejemplo externo y mantiene sus límites de inferencia.

Entrega del capítulo. Política de anuncios y prueba de destinos permitidos y excluidos.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué alcance entrega cada relación comercial?
2. ¿El IXP tiene las sesiones necesarias activadas?
3. ¿La validación de origen se mantiene con los cambios?
4. ¿La diversidad física tiene evidencia independiente de BGP?
5. ¿Qué destinos y carga funcionan al perder un proveedor?

Capítulo 37 Nube y conexión entre data centers

Al terminar este capítulo, el lector podrá Integrar transporte autorización y recurso de nube.

Términos esenciales. Conexión virtual = relación lógica sobre un acceso; CIR = tasa comprometida bajo un perfil.

Conectar un data center con una nube o con otro sitio exige definir la prestación entregada y todas sus dependencias. Fibra oscura, longitud de onda, Ethernet, IP y conexión virtual trasladan responsabilidades diferentes. La selección debe responder a la aplicación y a la capacidad operativa del cliente.

En este capítulo recorremos acceso físico, plataforma de interconexión, encaminamiento y destino. El resultado será una arquitectura que pueda contratarse y probarse por tramos y de extremo a extremo. La proximidad de una nube al edificio no equivale a tener un servicio habilitado.

37.1 Elegir la capa de contratación

La fibra oscura entrega un medio cuyo alcance y mantenimiento deben acordarse; el cliente necesita transmisión compatible. Una longitud de onda añade un canal de transporte con interfaces y modos definidos. Ethernet e IP incorporan funciones superiores y perfiles de servicio que requieren pruebas distintas.

El costo y la autonomía deben compararse con equipos, soporte, energía, repuestos y pruebas que conserva cada parte. Una alternativa aparentemente económica puede exigir capacidades operativas adicionales. La decisión describirá propiedad, administración y punto de intervención por capa.

La DCI debe responder a volumen, latencia y recuperación de las aplicaciones. Replicación síncrona, asíncrona, respaldo y acceso de usuarios pueden necesitar condiciones diferentes. La elección del transporte no demuestra que el almacenamiento ni la aplicación admitan el recorrido.

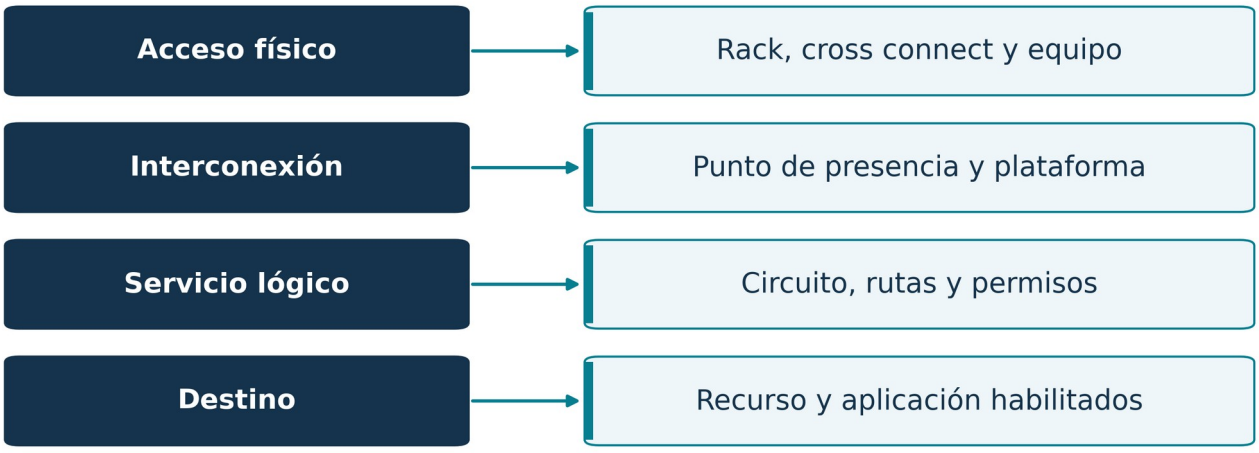


Figura 37.1. Capas de una conexión con nube o sitio remoto. La aceptación física y la habilitación lógica deben llegar hasta el recurso de destino previsto. Elaboración propia.

37.2 Reconstruir el acceso a la nube

El plano identificará rack del cliente, cross connect, equipo de acceso, plataforma y punto de interconexión. Después mostrará circuito lógico, sesiones y asociación con recursos de la nube. Cada paso necesita una orden, responsable y evidencia de activación cuando corresponda.

Microsoft documenta modelos ExpressRoute mediante colocation, Ethernet punto a punto, IPVPN y conexión directa. Es un ejemplo de cómo un mismo servicio puede alcanzarse por cadenas operativas diferentes. La propuesta deberá indicar el modelo concreto, sus límites y la distribución de responsabilidades. [158]

Un on ramp puede estar en otro edificio o ciudad. Deben conocerse recorrido de acceso, dependencias y desempeño hasta ese punto. La etiqueta de conexión local o virtual no permite deducir distancia, latencia ni separación física.

Tabla 37.1. Reconstruir el acceso a la nube

Capa entregada	Responsabilidad que debe aclararse	Evidencia necesaria
Fibra oscura	Medio, reparación y transmisión del cliente.	Caracterización e identidad del recorrido.
Canal óptico	Interfaces, modo y supervisión.	Errores, calidad y margen del canal.
Ethernet	UNI, perfil y clasificación.	Activación y desempeño acordado.
IP	Rutas, familias y políticas.	Alcance, aislamiento y recuperación.
Recurso de nube	Asociación, permisos y servicio.	Operación de aplicación y dependencias.

37.3 Controlar capacidad y multiplexación

Una conexión física puede alojar varias conexiones virtuales. El inventario debe relacionar sus perfiles con la capacidad compartida y con límites de plataforma. La suma de pedidos no debe convertirse en una garantía de simultaneidad si no existe capacidad para sostenerla.

Se revisarán límites de puerto, servicio, encaminamiento y recursos de destino. Una ampliación de perfil puede necesitar otros equipos o licencias, además de una modificación administrativa. La fecha de habilitación debe incluir las comprobaciones de todas las partes.

La demanda debe considerar sentido y simultaneidad. Respaldos, replicación y accesos de producción pueden coincidir con recuperación de un sitio. El dimensionamiento incorporará esa condición y definirá qué tráfico tendrá prioridad cuando la capacidad sea menor.

37.4 Diseñar continuidad más allá de dos circuitos

Se identificarán dependencias de edificio, acceso, plataforma y punto de presencia. Dos circuitos virtuales sobre un puerto conservan la falla de ese puerto. Dos conexiones en un mismo punto pueden compartir otros recursos que deben revisarse con el proveedor.

Las recomendaciones de resiliencia de AWS Direct Connect distinguen arquitecturas y dependencias de conexiones y ubicaciones. Deben utilizarse como referencia del producto concreto, junto con el

recorrido local y los requisitos de la aplicación. La arquitectura aceptada debe quedar dibujada y probada. [159]

La alternativa necesita capacidad, rutas y recursos activos suficientes. Una VPN de respaldo puede tener límites y comportamiento diferentes del acceso principal. El plan observará interrupción, alcance y tasa útil al activar esa alternativa, incluidos los controles de seguridad.

37.5 Proteger datos y administrar rutas

Acceso privado y cifrado son atributos que deben comprobarse por separado. AWS indica que Direct Connect no cifra por defecto el tráfico en tránsito y describe opciones de protección. El proyecto deberá definir puntos donde empieza y termina el cifrado y qué exposición permanece. [23]

Las políticas deben limitar prefijos y destinos a lo requerido. También se revisarán resolutores, servicios compartidos y permisos de plataforma. Una sesión de encaminamiento correcta no sustituye autorización para acceder a una base de datos o a un objeto de almacenamiento.

Las modificaciones deben coordinar carrier, interconexión, cliente y nube. Se conservarán identificadores de cada proveedor para relacionar tickets. La operación necesita saber quién puede intervenir en cada frontera y qué evidencia debe aportar al resto.

37.6 Aceptar la aplicación y el retorno

El plan separará aceptación del acceso, del servicio de transporte y del uso de nube. Se probarán MTU, alcance, tasa y latencia en los puntos acordados. Después se ejecutarán transferencias o transacciones representativas con configuración y extremos registrados.

En un caso ficticio, dos circuitos de nube se anuncian como redundantes pero comparten un puerto de interconexión. Una intervención de ese puerto corta ambos. El rediseño añade la separación necesaria y repite fallas físicas y lógicas, incluyendo la capacidad de la alternativa y la recuperación de la aplicación.

37.7 Preparar la ficha DCI y nube

1. Aplicaciones, volúmenes y objetivos de recuperación.
2. Capa contratada y demarcaciones.
3. Recorrido físico y conexiones virtuales.
4. Capacidad compartida y perfiles.
5. Rutas, permisos y cifrado.
6. Pruebas por capa, fallas y operación coordinada.

37.8 Reconstruir una conexión a nube desde el rack

Una solicitud se descompone en rack y borde del cliente, distribución interna, cross connect, transporte hasta el punto de interconexión y conexión autorizada al recurso de nube. Cada objeto conserva su identificador, estado y responsable. La contratación de un puerto o de una conexión virtual requiere comprobar las tareas restantes antes de fijar fecha de servicio.

Tabla 37.2. Reconstruir una conexión a nube desde el rack

Objeto del ejercicio	Estado inicial	Evidencia para cerrar
Panel y cross connect	Instalados	Identidad, mapa y pérdida del alcance
Transporte al punto remoto	Pendiente de entrega	Puerto, perfil y aceptación del carrier
Autorización de conexión	Solicitada	Aprobación y asociación a la entidad correcta
Rutas y segmentación	Preparadas	Anuncios admitidos y aislamiento
Recurso de aplicación	Disponible	Operación autenticada e integridad en destino
Alternativa	Por comprobar	Recuperación con las dependencias exigidas

37.9 Calcular el límite de una suma de conexiones

En un ejemplo didáctico, un acceso físico de 100 Gb/s transporta cuatro compromisos simultáneos de 10, 15, 20 y 30 Gb/s: 75 Gb/s nominales según una misma convención. La cuenta debe repetirse en cada recurso que comparten y después de la falla prevista. Si el transporte sobreviviente ofrece 40 Gb/s, conservar todos los compromisos simultáneos exigiría 35 Gb/s adicionales o una condición degradada explícita.

La reserva se gestiona con el objeto que realmente limita la entrega: puerto, perfil, enlace remoto, capacidad de la plataforma o destino. Reservar ancho de banda en el acceso no habilita automáticamente una conexión virtual ni garantiza capacidad del recurso final. Se documenta dónde se aplica la política y cómo se mide el caudal recibido.

37.10 Cerrar continuidad y cifrado hasta el recurso

Se dibujan los extremos de cifrado y los puntos donde el tráfico se termina, inspecciona o vuelve a cifrarse. La prueba conserva identidad del destino, validación de la sesión y operación permitida. La privacidad del transporte y la protección criptográfica son requisitos que deben quedar descritos en su propio alcance.

La contingencia retira el recurso acordado, comprueba la conexión alternativa y ejecuta la función que necesita el usuario. Si DNS, autenticación o una única puerta de enlace impiden la recuperación, el expediente registra ese resultado aunque el transporte alternativo esté disponible. Los formularios de aceptación permiten conservar esa diferencia y recibir solo los alcances comprobados.

Entrega del capítulo. Cadena de provisión y aceptación hasta el recurso autorizado.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué capa compra el cliente y qué debe operar?
2. ¿Dónde está realmente el punto de acceso a nube?
3. ¿Las conexiones virtuales comparten recursos físicos?
4. ¿El cifrado cubre el recorrido requerido?
5. ¿La alternativa soporta la carga y la aplicación?

Capítulo 38 Servicios auxiliares y entrega de aplicaciones

Al terminar este capítulo, el lector podrá Medir una transacción con sus servicios auxiliares.

Términos esenciales. DNS = resolución de nombres; TLS = protección de una sesión entre extremos.

Una aplicación puede fallar aunque todos los enlaces del data center estén activos. La resolución de nombres, las direcciones, el tiempo, la seguridad y la selección de servidores forman parte de su entrega. La conectividad debe representar esas dependencias para que la aceptación llegue hasta el uso real.

Organizamos DNS, DHCP, IPAM, NTP y PTP junto con balanceadores, firewalls y terminación TLS. El objetivo es construir un recorrido de aplicación verificable y una secuencia de diagnóstico. Las pruebas deben distinguir transporte, servicios auxiliares y procesamiento del destino.

38.1 Reconstruir una transacción completa

Se elegirá una transacción reconocible, por ejemplo abrir una sesión o consultar una base de datos. Se identificará quién inicia, cómo descubre el destino, qué conexiones abre y qué respuesta espera. El modelo incluirá servicios externos y comunicaciones de retorno.

El recorrido norte sur relaciona la plataforma con usuarios o redes exteriores; el recorrido este oeste describe comunicaciones entre recursos internos según la convención del proyecto. Ambos pueden atravesar políticas, balanceadores y dominios diferentes. El dibujo deberá conservar interfaces y responsables.

Las dependencias de identidad, certificados y almacenamiento deben vincularse con el recorrido. Una respuesta de red no acredita que la aplicación pueda autenticarse o completar su operación. La aceptación definirá una respuesta funcional y un tiempo medible.

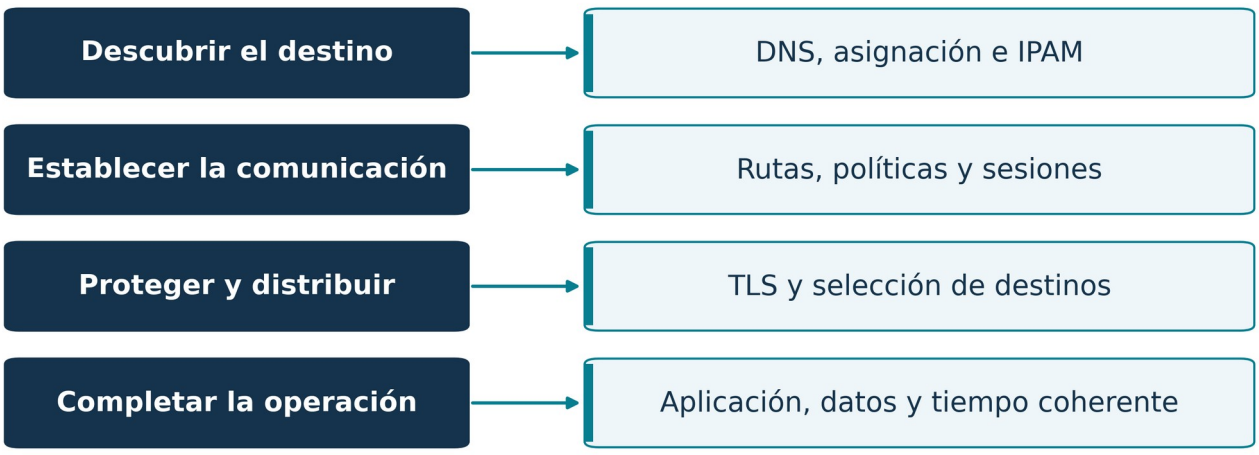


Figura 38.1. Dependencias de la entrega de aplicaciones. El transporte sostiene servicios de nombres, tiempo, políticas y procesamiento que deben comprobarse conjuntamente. Elaboración propia.

38.2 Administrar nombres y direcciones

RFC 9499 diferencia funciones y términos de DNS, incluidos servidores autoritativos y resolutores. El diseño debe identificar qué servicio responde a los clientes y de dónde obtiene la información. Una consulta favorable a otro resolutor puede no representar el recorrido de producción. [160]

La prueba registrará nombre consultado, tipo de registro, respuesta, resolutor y condición de caché. Debe contemplar nombres internos y externos según la aplicación. Al migrar un destino se revisarán tiempos de conservación de información y coexistencia de respuestas anteriores.

DHCP y los mecanismos de asignación de direcciones deben relacionarse con el plan IPAM. Se registrarán ámbitos, reservas, gateways y servidores pertinentes. Una dirección válida necesita además pertenencia al contexto correcto y acceso a los servicios auxiliares requeridos.

Tabla 38.1. Administrar nombres y direcciones

Dependencia	Qué se registra	Síntoma que puede provocar
DNS	Resolutor, zonas y respuestas esperadas.	Destino erróneo o espera antes de conectar.
Direcciones	Asignación, prefijo y gateway.	Alcance parcial o conflicto.
Tiempo	Fuente, estado y error admisible.	Registros incoherentes o validaciones fallidas.
Firewall	Flujos, estados y reglas.	Conexiones rechazadas o retorno bloqueado.
Balanceador	Servicio virtual, destinos y salud.	Distribución o selección inadecuada.
TLS	Punto de terminación e identidad.	Falla de negociación o confianza.

38.3 Mantener una referencia de tiempo adecuada

NTPv4 está especificado en RFC 5905. Su configuración y estado deben observarse en los equipos que generan registros y resultados. La presencia de una fuente configurada no demuestra sincronización suficiente para cualquier medida de tiempo. [161]

PTP debe seleccionarse con perfil, capacidades de equipos y objetivos de precisión compatibles. El proyecto definirá dónde se marca el tiempo, cómo se distribuye y qué ocurre al perder la referencia. Una medición unidireccional requiere conocer el error relativo de los relojes involucrados.

La operación registrará zona horaria, referencia y eventos de pérdida o recuperación. Los sistemas de observación deben poder correlacionarse. Un salto del reloj puede cambiar la lectura de una secuencia y debe distinguirse de una interrupción real de tráfico.

38.4 Relacionar seguridad y cadena de servicios

El firewall debe permitir flujos definidos por origen, destino, protocolo y sentido. En equipos con estado se revisará la simetría o el tratamiento admitido del retorno. La capacidad deberá corresponder a las funciones activas, al tamaño de tráfico y al número de sesiones.

Un balanceador selecciona destinos conforme a su configuración y a las comprobaciones de salud. Esas comprobaciones deben representar lo necesario para servir una solicitud. Un puerto abierto puede coexistir con una aplicación incapaz de completar una transacción.

La cadena de servicios identificará cada salto y transformación, incluidas traducciones de dirección y terminaciones. Se conservará cómo relacionar la sesión del cliente con la sesión del backend. Esa correlación permite ubicar errores sin atribuirlos automáticamente al acceso exterior.

38.5 Definir el alcance de TLS

TLS protege comunicaciones entre los extremos que lo terminan. Si un balanceador termina la sesión, el tramo siguiente necesita su propia decisión de protección. El diseño identificará certificados, identidad esperada y administración de claves sin incluir secretos en el expediente general. [162]

La prueba comprobará negociación y respuesta funcional con la configuración de producción. También distinguirá primera conexión, reutilización de sesión y conexiones persistentes cuando sean relevantes. Esas condiciones pueden cambiar latencia y consumo de recursos.

Las fechas, la confianza y la correspondencia de identidad deben formar parte de la operación de certificados. La renovación necesita responsables y validación de servicio. Una conexión física certificada puede seguir inutilizable para la aplicación por un problema de esa cadena de confianza.

38.6 Caso de una falla que parece de transporte

En un caso ficticio, un servicio cambia de sitio y algunos usuarios observan esperas. La red mantiene alcance, pero un resolutor conserva un destino anterior y un backend nuevo no supera la comprobación funcional. Las pruebas iniciales habían utilizado una dirección directa.

El equipo reproduce la solicitud con el mismo nombre y resolutor de los usuarios. Corrige la publicación y el estado de los destinos, y repite con caché y sin ella. El informe separa tiempo de resolución, conexión, protección y respuesta. La aceptación incorpora el recorrido completo y sus dependencias.

38.7 Preparar la ficha de aplicación

1. Transacción, usuarios y destinos.
2. Nombres, direcciones y contextos de red.
3. Fuentes de tiempo y error admisible.
4. Flujos, políticas y cadena de servicios.
5. Terminaciones TLS y responsables de certificados.
6. Pruebas funcionales, carga y recuperación.

38.8 Descomponer una transacción sin duplicar tiempos

La secuencia didáctica de Faro contiene DNS de 5 ms, establecimiento TCP de 80 ms, TLS de 80 ms, autenticación de 20 ms y backend de 40 ms: suma 225 ms si todas esas fases son secuenciales y se miden con fronteras compatibles. Una conexión reutilizada puede evitar fases y una ejecución paralela necesita un modelo de camino crítico. Se conserva el protocolo, el estado de caché y la reutilización de sesiones.

Tabla 38.2. Descomponer una transacción sin duplicar tiempos

Fase	Evidencia que se registra	Error de interpretación que se evita
DNS	Consulta, respuesta, destino y caché	Culpar al enlace por una resolución equivocada
TCP	Establecimiento y retransmisiones observables	Tratar toda espera como tiempo de servidor
TLS	Versión, identidad y resultado de negociación	Confundir alcance IP con sesión autenticada
Identidad	Petición y resultado funcional	Cerrar recuperación mientras la autenticación sigue caída
Backend	Operación, datos y finalización	Aceptar una respuesta rápida con contenido incorrecto

38.9 Preparar una prueba funcional controlada

Se define una operación que el dueño de la aplicación pueda validar: escribir un objeto, leerlo con la identidad prevista y comprobar su contenido. Se conserva un identificador de transacción para relacionar cliente, balanceador y backend. Los datos utilizados deben representar el requisito, con alcance y permisos de la práctica definidos antes de generar carga.

El modelo de carga indica si los clientes siguen iniciando operaciones a un ritmo externo o esperan a que termine la anterior. Una aplicación que se frena puede reducir la carga ofrecida en un modelo cerrado; por eso el informe conserva solicitudes iniciadas, completadas, fallidas y pendientes, junto con sus tiempos. No se calcula el percentil de éxito sobre las operaciones completadas ocultando las que no terminaron.

38.10 Interpretar una recuperación de red anterior a la aplicación

El objetivo de Faro exige RTO de 30 minutos. Si el transporte recupera a los 20 minutos y la identidad a los 34, la función dependiente de identidad excede el RTO en cuatro minutos. La cronología registra la recuperación de cada dependencia y termina cuando la operación acordada vuelve a ser válida. La prueba de red conserva su resultado favorable dentro de ese alcance; el resultado de continuidad de la aplicación permanece incumplido.

El laboratorio 60 utiliza la secuencia de fases para analizar una transacción y el 64 desarrolla continuidad. La entrega incluye responsable de cada dependencia, consulta de registros, forma de actuar durante una falla y una transacción que permita verificar el cierre. Esa información debe poder utilizarla el personal de turno sin depender del autor de la instalación.

Entrega del capítulo. Desglose temporal y verificación funcional de la transacción.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La prueba utiliza el mismo nombre y resolutor que producción?
2. ¿Se conoce el estado de los relojes?
3. ¿Las pruebas de salud representan la aplicación?
4. ¿Dónde termina cada sesión protegida?
5. ¿El resultado separa resolución, conexión y procesamiento?

Parte 8 Medición y certificación del medio físico

La medición necesita un objeto definido, un método y un criterio previo. Esta parte desarrolla la verificación y caracterización del medio físico, desde inspección y pérdida hasta OTDR, CD, PMD y cobre.

Capítulo 39 Metrología y planificación de las pruebas

Al terminar este capítulo, el lector podrá Preparar una decisión de medida con incertidumbre y cobertura.

Términos esenciales. Mensurando = magnitud que se pretende medir; incertidumbre = parámetro de dispersión del valor atribuido.

Una medición solo permite aceptar una prestación cuando sabemos qué magnitud representa, cómo se obtuvo y contra qué requisito se compara. El nombre del instrumento y una pantalla verde resultan insuficientes si el montaje excluye un conector o utiliza un límite ajeno al servicio.

Este capítulo establece el método común de las pruebas del libro. Definimos magnitudes, unidades, incertidumbre, instrumentos, cobertura y reglas de decisión. El plan deberá prepararse antes del ensayo y producir evidencias que otra persona pueda interpretar y repetir.

39.1 Definir el objeto y la magnitud

El mensurando es la magnitud que queremos medir. En una prueba óptica puede ser pérdida de inserción entre dos planos de referencia a una longitud de onda. En una prueba de servicio puede ser retardo de una población concreta de paquetes. Cambiar extremos, longitud de onda o población puede cambiar la magnitud evaluada.

La ficha identificará objeto, extremos, sentidos, estado y configuración. Distinguirá fibra individual, pareja, canal, circuito y servicio. El resultado de una fibra no se extenderá a las demás por pertenecer al mismo cable; tampoco se atribuirá a un servicio completo una medida de un tramo.

El plan debe expresar qué pregunta resuelve cada ensayo. Una inspección observa el estado de una cara; un OLTS mide pérdida del montaje; un OTDR caracteriza eventos; una prueba Ethernet evalúa atributos del servicio. La complementariedad se conserva sin declarar equivalentes los resultados.

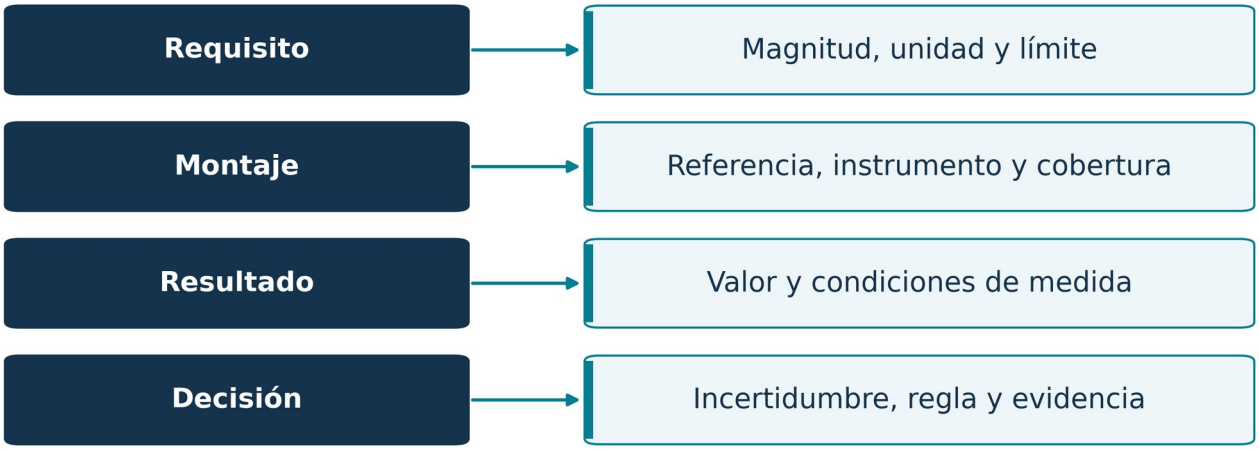


Figura 39.1. Cadena de una decisión de aceptación. Requisito, montaje, resultado e incertidumbre deben quedar relacionados antes de emitir una conclusión. Elaboración propia.

39.2 Usar unidades y referencias sin ambigüedad

La potencia absoluta puede expresarse en W o dBm. La pérdida es una relación que suele expresarse en dB. Para una pérdida positiva entre entrada y salida usamos $L = 10 \log_{10}(\frac{P_{entrada}}{P_{salida}})$, con potencias en la misma unidad. Restar niveles expresados en dBm entrega una diferencia en dB.

En red se distinguirán bit y byte, prefijos decimales y binarios, tasa por sentido y tasa agregada. Un tiempo en milisegundos necesita indicar si es unidireccional o de ida y vuelta. La unidad debe acompañar al dato en archivos, tablas y límites.

Los valores negativos necesitan una convención. Reflectancia y pérdida de retorno utilizan relaciones inversas que se explicarán en el capítulo 43. Un límite no debe aplicarse por el aspecto del signo. El informe conservará definición y referencia de cada magnitud.

39.3 Distinguir resolución, precisión y exactitud

El VIM diferencia exactitud, precisión y repetibilidad. La exactitud expresa cercanía al valor verdadero y no se asigna como una magnitud numérica; la precisión describe concordancia de medidas repetidas bajo condiciones especificadas. Una pantalla con más decimales no demuestra menor error. [163]

La repetibilidad se evalúa manteniendo condiciones definidas; la comparación entre operadores, instrumentos o ubicaciones necesita describir qué cambió. Si al reconectar un latiguillo varía la lectura, esa contribución importa para el trabajo de campo. Repetir solo sin tocar el montaje puede ocultarla.

Se conservarán las observaciones individuales necesarias para interpretar dispersión. No se seleccionará únicamente el mejor resultado de una serie sin explicar el criterio. La repetición debe servir para investigar y estimar variación, no para cambiar el requisito después de observar los datos.

Tabla 39.1. Distinguir resolución precisión y exactitud

Elemento del plan	Dato obligatorio	Consecuencia de omitirlo
Magnitud	Definición, unidad y planos de referencia.	Resultados que parecen comparables y no lo son.
Instrumento	Modelo, serie, versión y estado metrológico.	Imposibilidad de reconstruir capacidad de medida.
Montaje	Accesorios, referencias y conexiones.	Componentes excluidos sin identificar.
Cobertura	Objetos, longitudes de onda y sentidos.	Fibras o condiciones sin comprobar.
Decisión	Límite, fuente y tratamiento de incertidumbre.	Aprobación sin criterio reproducible.
Archivos	Datos originales y metadatos.	Informe que no permite revisar el análisis.

39.4 Preparar calibración y verificaciones de campo

La calibración establece relaciones entre indicaciones y referencias con incertidumbre asociada; no equivale a ajustar ni a poner a cero el equipo. El certificado debe corresponder al instrumento y a las magnitudes pertinentes. Su alcance y resultados importan más que una etiqueta aislada. [164]

El programa metrológico fijará intervalos y controles según uso, fabricante y requisitos del proyecto. También debe gestionar golpes, reparaciones o resultados anómalos. No existe un intervalo universal que garantice todos los instrumentos y aplicaciones.

Antes de medir se comprobarán conectores, referencias, accesorios y funcionamiento conforme al manual. Después se evaluará deriva cuando el método lo requiera. Establecer una referencia óptica de campo no sustituye la calibración del medidor; ambas operaciones resuelven problemas distintos.

39.5 Evaluar incertidumbre y regla de decisión

La incertidumbre caracteriza la dispersión de valores atribuibles a la magnitud con la información disponible. No es el error conocido ni una tolerancia del producto. En campo pueden contribuir instrumento, referencia, reconexión, fuente, accesorios, ambiente y método. [165]

Un presupuesto debe convertir contribuciones a incertidumbres estándar y considerar sensibilidades y correlaciones. Para contribuciones independientes y un modelo apropiado, se combinan cuadráticamente; no se suman sin justificación todas las cifras comerciales. La incertidumbre expandida necesita factor de cobertura y condiciones declaradas. La familia GUM proporciona el marco de evaluación. [166]

En un ejemplo didáctico se acuerda aceptar una pérdida máxima de 2,00 dB solo si el resultado más su incertidumbre expandida no supera el límite. Con 1,85 dB y U de 0,20 dB, la suma es 2,05 dB y no satisface esa regla. Esa regla es una elección del ejemplo, no un mandato universal: debe pactarse antes de medir.

39.6 Determinar cobertura y trazabilidad

La matriz identificará cada fibra, interfaz o servicio y las pruebas aplicables. Las longitudes de onda y sentidos se seleccionarán según medio, norma, aplicación y contrato. Cualquier muestreo tendrá justificación y límites de inferencia; no se presentará como comprobación de elementos no medidos.

La nomenclatura de archivos debe relacionar objeto, extremos, dirección, longitud de onda y fecha. Se conservarán datos nativos, configuración, límites y versión de análisis. El PDF comunica una conclusión; los archivos originales permiten revisar eventos, parámetros y decisiones.

Los cambios posteriores necesitan evaluar qué evidencia sigue vigente. Sustituir un latiguillo puede cambiar el alcance del canal aceptado. La nueva prueba conservará vínculo con la anterior y explicará la configuración a la que corresponde cada resultado.

39.7 Resolver resultados discordantes

En un caso ficticio, dos cuadrillas obtienen pérdidas diferentes del mismo enlace. Una referencia excluye una conexión y la otra la incluye. Antes de intervenir la fibra, el equipo compara montajes, accesorios y referencias, unifica el alcance y repite con controles de reconexión.

La discrepancia se documenta con sus causas y con los resultados conservados. Si persiste, se revisan instrumentos y métodos dentro de sus incertidumbres. El objetivo es producir una decisión sustentada, sin atribuir automáticamente todo desacuerdo a un cable defectuoso.

39.8 Emitir el plan de mediciones

1. Requisito, magnitud, unidad y responsable.
2. Objetos y planos de referencia.
3. Método, instrumento, accesorios y estado metrológico.
4. Cobertura, configuración y condiciones de ensayo.
5. Límites, incertidumbre y regla de decisión.
6. Archivos originales, revisión y gestión de discrepancias.

El capítulo 40, Inspección y verificación inicial de fibra, comenzará la secuencia de campo con identidad, limpieza y continuidad antes de medir prestaciones ópticas.

39.9 Presupuesto de incertidumbre y decisión resuelta

El taller adopta una pérdida de inserción máxima de 2,20 dB para una troncal del Campus Faro. La magnitud es la pérdida entre los planos de entrega, a una longitud de onda y en un sentido concretos. La decisión se pacta antes del ensayo: aceptación cuando el extremo superior del intervalo queda dentro del límite; no conformidad cuando todo el intervalo lo supera; resultado indeterminado cuando el intervalo cruza el límite. Esta regla de proyecto utiliza incertidumbre expandida y no pretende asignar por sí sola una probabilidad universal de conformidad. [216]

Tabla 39.2. Presupuesto de incertidumbre y decisión resuelta

Contribución	Dato de partida	Incertidumbre estándar en dB
Calibración del medidor	U = 0,08 dB y k = 2	0,040

Contribución	Dato de partida	Incertidumbre estándar en dB
Variación de la fuente	Semiancho 0,052 dB con modelo rectangular	0,030
Reconexión	Desviación típica para una conexión individual	0,020
Accesorios de referencia	Estimación del conjunto empleado	0,020

Para este ejemplo se consideran sensibilidades unitarias y contribuciones independientes. La suma cuadrática da una incertidumbre estándar combinada de 0,05745 dB. Con k = 2 se obtiene 0,1149 dB; se adopta U = 0,12 dB mediante redondeo conservador. Si las lecturas comparten referencia, existe correlación o se informa una media de reconexiones, hay que revisar el modelo y sus covarianzas. La resolución de la pantalla no sustituye ninguna de estas contribuciones.

$$u_c = \sqrt{0{,}04^2 + 0{,}03^2 + 0{,}02^2 + 0{,}02^2} = 0{,}05745\ dB;\ U = 2u_c \approx 0{,}12\ dB$$

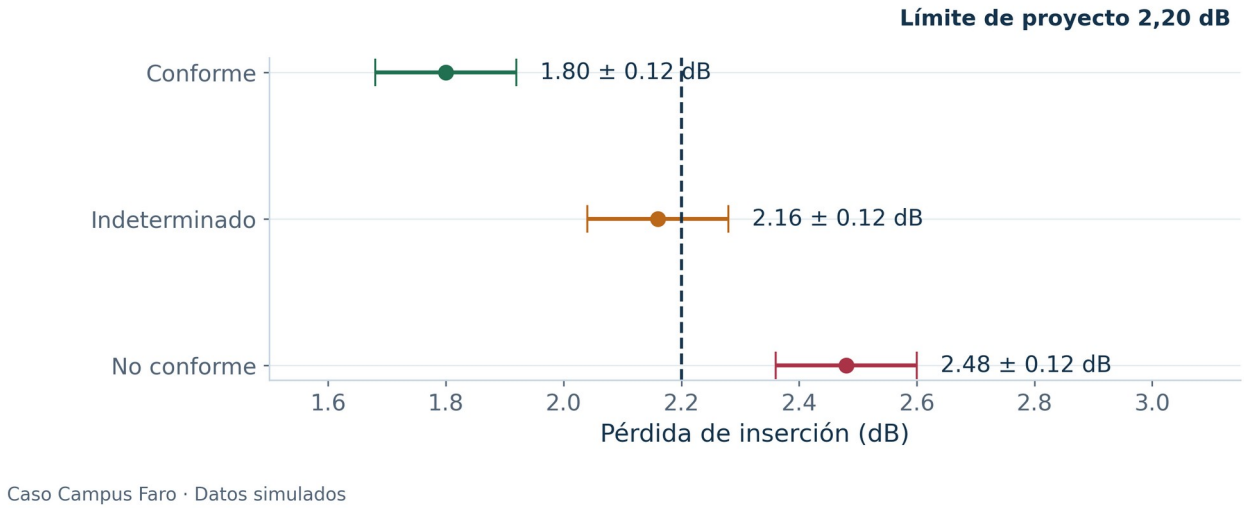


Figura 39.2. Decisiones de proyecto para un límite de 2,20 dB y U = 0,12 dB. Intervalos y resultados simulados. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

39.10 Aplicar la regla sin cambiarla después de medir

La tabla 39.3 reúne la solución de referencia del conjunto decision_incertidumbre.csv. Se aplica el límite 2,20 dB y U = 0,12 dB del proyecto didáctico, después de comprobar que el montaje y el modelo corresponden al objeto.

Tabla 39.3. Decisiones de referencia para la pérdida del ejercicio

Lectura e intervalo en dB	Decisión bajo la regla pactada	Acción y evidencia
1,80; intervalo 1,68 a 1,92	Conforme: M + U no supera 2,20.	Conservar lectura, configuración e incertidumbre.
2,16; intervalo 2,04 a 2,28	Indeterminado: el intervalo cruza 2,20.	Investigar referencia, reconexión y condición física; no forzar una conformidad.
2,48; intervalo 2,36 a 2,60	No conforme: M − U supera 2,20.	Identificar intervención y conservar el resultado previo a repetir.

Para aplicar la regla: identificar objeto y planos; comprobar referencia e incertidumbre; conservar la lectura sin redondeo prematuro; comparar el intervalo; registrar decisión y acción. La nueva medida posterior a una intervención se vincula con la anterior y explica cualquier cambio del modelo.

El presupuesto óptico de diseño y el presupuesto de incertidumbre responden preguntas distintas. No demostrar conformidad y demostrar no conformidad también son estados distintos, aunque ambos puedan impedir una aceptación sin reservas.

39.11 Ejercicio numérico con respuesta

Un resultado es 2,05 dB, con U = 0,12 dB y límite 2,20 dB. El extremo superior es 2,17 dB: cumple la regla del taller y deja 0,03 dB hasta su frontera de aceptación. Ese saldo no es una reserva de envejecimiento adicional. Si la reserva del diseño ya fue descontada al fijar 2,20 dB, no debe descontarse una segunda vez.

39.12 Laboratorio 39 decidir con incertidumbre

Objetivo y entrega. Reconstruir el presupuesto con las contribuciones del ejercicio y explicar la decisión sin modificar la regla después de observar los resultados.

Montaje y condiciones. El modo analítico utiliza decision_incertidumbre.csv y la hoja Óptica. Las contribuciones estándar independientes son 0,040, 0,030, 0,020 y 0,020 dB. Una práctica física requiere instrumentos, accesorios y controles adecuados al método.

Material de análisis. Ejecutar python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 39 desde el kit. Este programa calcula datos didácticos y no controla instrumentos.

1. Escribir magnitud, planos, límite y regla antes de revisar la solución.

2. Combinar contribuciones y obtener U con k = 2. Justificar el redondeo conservador adoptado.

3. Calcular los intervalos de las tres lecturas y contrastar la salida con la tabla 39.3. Explicar por qué el resultado indeterminado exige una acción diferente de la no conformidad.

4. Resolver el caso de 39.11 e identificar qué cambia si las contribuciones están correlacionadas. Separar saldo frente a la frontera de aceptación de una reserva de envejecimiento.

Resultado y criterio de cierre. La combinación independiente da u = 0,0574456 dB y U calculada = 0,114891 dB; se adopta 0,12 dB. La tabla 39.3 es la única solución de referencia de los tres estados. El cierre conserva modelo, contribuciones, configuración y decisión.

Desafío de nivel avanzado. Justificar por qué una referencia compartida puede exigir covarianzas y por qué no basta con conservar la misma U.

Evaluación. Aplicar la rúbrica P.4 a la reconstrucción y la explicación; registrar por separado cualquier ejecución física supervisada.

Entrega del capítulo. Plan de medición y regla de decisión previa.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué magnitud y qué extremos representa el resultado?
2. ¿Se distingue resolución de capacidad metrológica?
3. ¿La calibración cubre la medida realizada?
4. ¿La regla de decisión estaba acordada antes de ensayar?
5. ¿Otra persona puede reconstruir montaje y cobertura?

Capítulo 40 Inspección y verificación inicial de fibra

Al terminar este capítulo, el lector podrá Inspeccionar limpiar y reinspeccionar cada cara de conexión.

Términos esenciales. Férula = elemento que posiciona la fibra; reinspección = observación tras la acción.

La primera prueba de una fibra consiste en confirmar que trabajamos sobre el extremo correcto y que puede conectarse en condiciones adecuadas. La suciedad, una identidad equivocada o una polaridad incompatible pueden invalidar las mediciones siguientes y afectar los equipos conectados.

Desarrollaremos una secuencia de inspección, limpieza, reinspección, continuidad y mapa de fibras. Se aplicará a conectores individuales y multifibra. Al terminar debe existir una evidencia inicial reconocible, sin atribuir a estas verificaciones la certificación de pérdida ni el desempeño del servicio.

40.1 Preparar identidad acceso y condición óptica

La orden debe identificar cable, fibra, panel, puerto y extremo remoto. Se contrastarán etiquetas con inventario antes de desconectar. Si existe discrepancia, se resolverá la identidad del recurso afectado y sus servicios dependientes antes de ejecutar el trabajo.

El procedimiento debe controlar las fuentes ópticas y el acceso a ambos extremos. Se utilizará instrumentación adecuada para comprobar las condiciones de trabajo. Nunca se observará directamente una fibra ni se conectará a un microscopio óptico sobre la base de que no se ve luz: la transmisión puede ser invisible.

La inspección necesita sondas y adaptadores compatibles con el conector, su pulido y el acceso. También debe comprender las condiciones del transceptor. No se introducirá un accesorio que pueda dañar la superficie o que no permita evaluar la zona requerida.

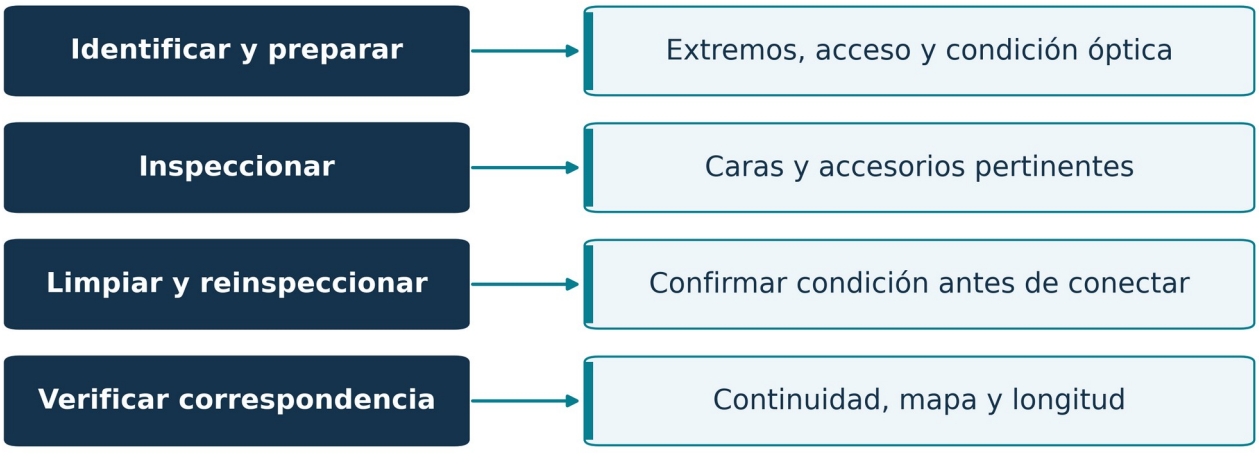


Figura 40.1. Secuencia inicial de una conexión óptica. La limpieza se comprueba mediante reinspección y el resultado se relaciona con identidad y mapa de fibras. Elaboración propia.

40.2 Inspeccionar antes de conectar

La inspección debe abarcar las dos caras que se unirán, incluidas las que están en paneles y accesorios de prueba. Un extremo limpio puede contaminarse al conectarlo con otro sucio. Los tapones protegen mecánicamente, pero su presencia no prueba que la superficie esté limpia.

IEC 61300-3-35:2022 trata observación y clasificación de contaminación y defectos. Su alcance público aclara que la inspección complementa la calificación óptica y que el desempeño óptico determina el uso del conector. El proyecto debe aplicar criterios y edición acordados sin convertir una imagen aislada en sustituto de pérdida y retorno. [137]

La evidencia debe incluir identificador, extremo y condición de captura. Un análisis automático necesita perfil correcto, enfoque y cobertura adecuados. Una imagen de otra fibra o de una parte de la férula no acredita la condición del conector completo.

40.3 Limpiar y volver a inspeccionar

Se seleccionará un método y consumibles compatibles con el componente y con las instrucciones aplicables. La limpieza debe evitar residuos, transferencia de contaminación y daño. No se reutilizarán superficies de limpieza que puedan transportar partículas al siguiente extremo.

Cisco documenta la secuencia de inspección, limpieza y reinspección antes de conectar. Esa reinspección confirma el resultado de la acción. Si persiste una condición inadecuada, se investigará con el procedimiento del componente en lugar de repetir indefinidamente una maniobra que no la resuelve. [167]

Se distinguirá contaminación removible de un daño que exige evaluación o sustitución. El registro conservará la condición relevante y la decisión adoptada. Los criterios de rechazo y las comprobaciones ópticas deben corresponder al acuerdo técnico, sin ocultar una discrepancia mediante un simple cambio de nombre del archivo.

Tabla 40.1. Limpiar y volver a inspeccionar

Verificación	Resultado que demuestra	Alcance que no demuestra
Inspección	Condición observada de la superficie.	Pérdida y retorno de todo el enlace.
Continuidad	Conexión entre extremos identificados.	Presupuesto óptico o capacidad de datos.
Mapa de fibras	Correspondencia entre posiciones.	Compatibilidad de todos los equipos.
VFL	Identificación o indicios visibles en su alcance.	Certificación de pérdida o ubicación exacta universal.
Longitud	Estimación o medida según método.	Ruta geográfica y diversidad del cable.

40.4 Verificar continuidad y correspondencia

La continuidad debe comprobarse sobre extremos identificados con un método adecuado al medio. Se registrará qué señal se inyecta y dónde se detecta. Una pareja conectada necesita verificar ambas fibras y el sentido previsto; encontrar luz en un panel no basta para confirmar la asignación.

El mapa debe conservar la correspondencia de posiciones de origen y destino. En un enlace dúplex interesa la relación entre transmisión y recepción del sistema. En multifibra se revisarán todas las posiciones utilizadas y las reservadas que formen parte de la entrega.

Los casetes, troncales y latiguillos pueden transformar la correspondencia. El tipo declarado de una troncal no describe por sí solo el canal completo. El mapa real debe contrastarse con las interfaces que se instalarán, especialmente al cambiar número de carriles o aplicación.

40.5 Aplicar la inspección a conectores multifibra

En MPO se identificarán número de fibras, geometría, orientación y presencia de pines. La sonda debe permitir inspeccionar todas las superficies pertinentes. Deben evitarse combinaciones mecánicas incompatibles y conexiones de pulidos que no corresponden entre sí.

Se inspeccionará la férula y el conjunto de fibras de acuerdo con el método aplicable. La herramienta puede producir varias imágenes o una imagen amplia; el expediente debe permitir comprobar su cobertura. El operador debe reconocer posiciones para vincular defectos y resultados con el mapa.

La limpieza se realizará con herramientas compatibles con esa férula y acceso. Después se repetirá la inspección y se conservará la condición final requerida. Una fibra contaminada puede comprometer una aplicación paralela aunque las restantes parezcan adecuadas.

40.6 Usar VFL y longitud con sus límites

Un localizador visual puede ayudar a identificar extremos y a detectar indicios de discontinuidad o curvatura en condiciones accesibles. Su utilidad depende de longitud, pérdidas, cubierta y visibilidad. La ausencia de luz visible a través de una cubierta no demuestra ausencia de defectos.

El VFL no entrega una medida certificada de pérdida ni sustituye un OTDR. La localización visual de un indicio debe contrastarse con identidad y montaje. En una instalación activa se seguirán las condiciones de intervención y compatibilidad antes de introducir cualquier fuente.

La longitud puede obtenerse mediante instrumentos y parámetros distintos. Debe registrarse método e índice o factor aplicable. La longitud óptica incluye efectos del tendido y construcción que no equivalen exactamente a la distancia del plano; tampoco permite deducir por sí sola el ducto utilizado.

40.7 Caso de contaminación en el accesorio de prueba

En un caso ficticio, una cuadrilla limpia el enlace y sigue obteniendo resultados inestables. La inspección del latiguillo de referencia identifica contaminación en su extremo. Al reconectar se estaba transfiriendo a la conexión que se intentaba medir.

El equipo revisa y prepara todos los extremos del montaje, valida el accesorio y restablece la referencia según el método. Repite las mediciones afectadas y conserva la causa. La mejora consiste en incluir los accesorios en la misma disciplina de identidad e inspección que la instalación.

40.8 Cerrar la verificación inicial

1. Orden, objeto y servicios afectados confirmados.
2. Condición óptica y acceso controlados.
3. Sondas y consumibles compatibles.

4. Inspección inicial y final de los extremos pertinentes.
5. Continuidad, mapa y longitud con método identificado.
6. Pendientes y autorización para continuar con medidas ópticas.

El capítulo 41, Potencia y pérdidas de inserción, utilizará esta preparación para medir el alcance definido con referencias y presupuestos explícitos.

40.9 Secuencia de inspección del conjunto de medida

En el Campus Faro se prepara la conexión antes de asociarle un resultado de pérdida. La inspección cubre las caras de los latiguillos de referencia, los puertos accesibles del instrumento y los extremos del enlace. Primero se comprueba la identidad del recurso y la condición óptica mediante el procedimiento de seguridad de la instalación. La sonda y sus adaptadores deben ser compatibles con formato, pulido y acceso. No se utiliza un microscopio óptico de observación directa sobre una fibra cuya condición de emisión no está controlada.

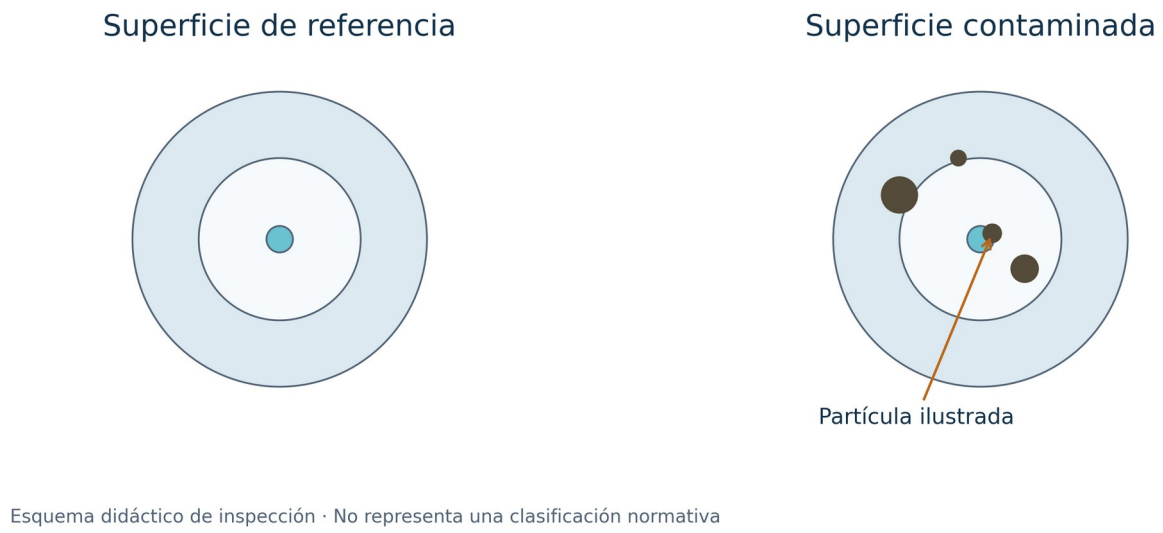


Figura 40.2. Caras de conexión representadas de forma esquemática. La ilustración no representa una imagen de microscopio ni una clasificación IEC. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

1. Relacionar la orden con panel, puerto, fibra y servicio afectado. Si una etiqueta contradice el inventario, detener la conexión y resolver la discrepancia.
2. Obtener la primera imagen con la sonda y el adaptador adecuados. Guardar identificación del extremo y condiciones de captura.
3. Aplicar el método de limpieza del componente. Mantener separados los consumibles limpios de los usados y proteger inmediatamente los elementos preparados.
4. Reinspeccionar. Si persiste una señal anómala, distinguir contaminación removible de daño; no repetir indefinidamente una acción que no modifica la condición.
5. Conectar el conjunto preparado y verificar correspondencia de fibras. La inspección aprobada permite continuar con la medida, pero no sustituye la prueba óptica del canal.

40.10 Prueba de correspondencia y cierre del trabajo

El ejercicio utiliza la conexión XC-A-0001, desde el ODF del carrier Alfa hasta el punto acordado del cliente. Se recorre cada transformación de posiciones: panel, casete cuando exista, troncal y latiguillo. En un canal dúplex se verifica la relación transmisión y recepción de ambas fibras. En uno multifibra se registra el mapa de todas las posiciones utilizadas por la aplicación, sin deducirlo de los colores del cable. [168]

Tabla 40.2. Prueba de correspondencia y cierre del trabajo

Observación del taller	Interpretación inicial	Acción que permite avanzar
Suciedad en el latiguillo de referencia	La contaminación puede transferirse al enlace	Limpiar e inspeccionar ambos lados antes de repetir
Continuidad en una posición equivocada	Existe camino óptico con identidad incorrecta	Reconstruir el mapa y corregir la conexión autorizada
Imagen fuera de foco	No existe una observación válida de la superficie	Corregir sonda, adaptador o enfoque
Superficie preparada y mapa correcto	Se han cumplido las verificaciones iniciales	Continuar con OLTS y las pruebas del plan

El informe conserva el estado previo y posterior cuando la intervención elimina una anomalía. En la ficha G se registra quién inspeccionó, qué extremo observó y qué decisión permitió continuar. Si se cambia un accesorio después de establecer la referencia de pérdida, se revisa esa referencia antes de atribuir una variación al enlace.

40.11 Ejercicio de diagnóstico con respuesta

Una cuadrilla obtiene continuidad, pero el receptor no establece enlace. La continuidad permite afirmar que la señal de identificación llega a algún extremo; falta verificar polaridad, posición, compatibilidad de ópticas y estado del host. La siguiente acción es reconstruir el canal hasta el transceptor y comprobar su mapa, manteniendo la emisión controlada. Aumentar potencia o limpiar sin comprobar identidad no resuelve una fibra conectada a una posición incorrecta.

40.12 Laboratorio 40 registrar inspección antes y después de limpiar

Objetivo y entrega. Construir una secuencia de inspección que preserve la imagen inicial, la acción y la imagen final para cada cara de conexión. El producto del ejercicio es un registro utilizable por otro técnico.

Montaje y condiciones. Práctica de preparación con las caras esquemáticas del atlas y el formulario de medición. La ejecución física exige verificar ausencia de señal o utilizar un método y accesorios aptos para el servicio, sonda compatible y procedimiento de limpieza del componente. El esquema no se puntúa como fotografía de microscopio.

Material de análisis. Formulario del kit y documentación del montaje. El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 40.

1. Identificar puerto, conector, pulido, adaptador y cara que se inspeccionará. Registrar instrumento, punta y criterio aplicable.

2. Observar y guardar el estado inicial. Si la zona requerida no está enfocada o visible, clasificar el dato como inválido y corregir la observación.
3. Aplicar la limpieza autorizada cuando corresponda. Reinspeccionar antes de conectar y conservar ambas imágenes.
4. Si persiste un defecto, detener la conexión de esa pareja, identificar el componente y escalar sustitución o evaluación. Inspeccionar también el accesorio que tocará la cara.

Resultado y criterio de cierre. El formulario queda completo por extremo, con acción y resultado. Un estado final favorable necesita una imagen interpretable bajo el criterio elegido. La continuidad eléctrica u óptica del canal no sustituye esta inspección; una imagen de un solo extremo tampoco cierra ambos.

Desafío de nivel avanzado. Una lectura de potencia es suficiente, pero la imagen final sigue mostrando un defecto que excede el criterio adoptado. ¿Se conecta?

Orientación de respuesta. No se cierra la inspección como conforme. Se resuelve el defecto o se registra la excepción con su alcance; la lectura de potencia responde otra pregunta.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

Entrega del capítulo. Registro de imágenes iniciales y finales por extremo.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Se inspeccionaron también los accesorios de medida?
2. ¿La sonda cubre la férula y el pulido correctos?
3. ¿La limpieza quedó confirmada por reinspección?
4. ¿El mapa corresponde al canal completo?
5. ¿Se evita presentar continuidad como certificación óptica?

Capítulo 41 Potencia y pérdidas de inserción

Al terminar este capítulo, el lector podrá Medir pérdida entre planos definidos y comprobar presupuesto.

Términos esenciales. dBm = potencia referida a un milivatio; dB = relación logarítmica.

La potencia indica el nivel óptico en un punto; la pérdida de inserción compara lo que entra y sale del alcance definido. Para aceptar un enlace necesitamos distinguir ambas magnitudes y saber qué conexiones incluye la referencia. Un receptor con potencia dentro de rango no acredita por sí solo la calidad de transmisión.

Preparamos medidas con fuente y medidor de potencia u OLTS, controlaremos las condiciones de lanzamiento y construimos un presupuesto. El resultado debe compararse con los límites del cableado y de la aplicación que realmente se instalará, conservando margen y evidencia de cada fibra.

41.1 Definir los planos de referencia

El dibujo de prueba marcará inicio y final del alcance, conexiones de entrada y salida, latiguillos y adaptadores. Se indicará cuáles se incluyen en la pérdida y cuáles pertenecen al montaje de referencia. Esa definición debe coincidir con la entrega física que se pretende aceptar.

Una prueba de troncal entre paneles y una prueba del canal completo con latiguillos de equipo representan alcances diferentes. Sus resultados pueden ser correctos y no intercambiables. La ficha deberá vincular cada resultado con componentes e identificadores.

La medida debe realizarse con conectores compatibles y preparados. Se comprobará el estado de los latiguillos de referencia y su adecuación al método. Una referencia contaminada o un accesorio de calidad insuficiente pueden trasladar error al resultado de todas las fibras ensayadas.

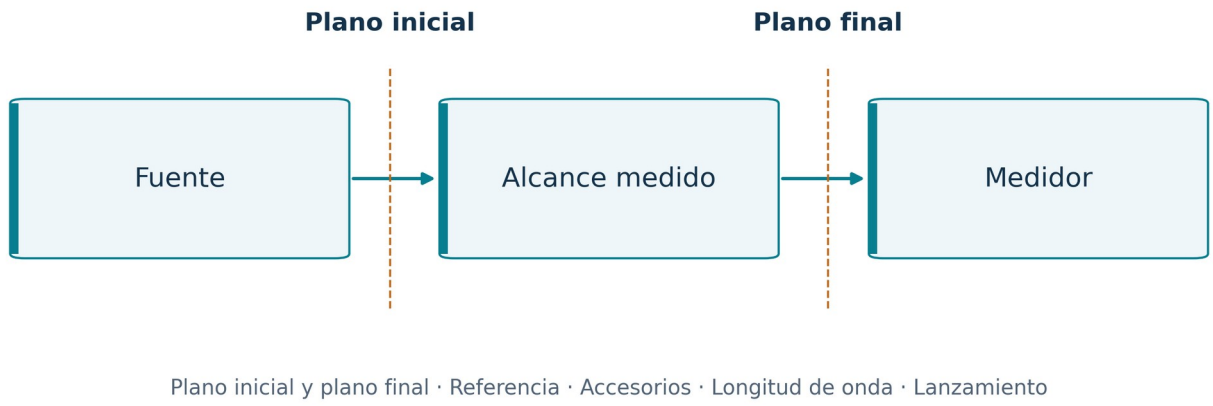


Figura 41.1. Montaje conceptual para medir pérdida entre planos definidos. El procedimiento de referencia determina qué conexiones quedan incluidas. Deben dibujarse también los accesorios utilizados. Elaboración propia.

41.2 Establecer la referencia de pérdida

Montaje o lámina de apoyo: figura M.13. La leyenda conserva el alcance y las comprobaciones del ejemplo.

La fuente debe estar estabilizada conforme al manual y el medidor configurado para la longitud de onda correcta. Primero se registra o establece el nivel de referencia; después se introduce el alcance a medir siguiendo el método elegido. No se modifica silenciosamente el montaje entre ambos pasos.

Existen procedimientos de referencia con uno o más latiguillos. Su selección depende de conectores, instrumento y norma aplicable. La guía de Fluke distingue cómo el método modifica las conexiones incluidas y explica el uso de referencia con un latiguillo para muchos montajes. La elección debe quedar dibujada, sin presentar todos los métodos como equivalentes. [169]

Las conexiones que deban permanecer fijas durante la referencia se conservarán según las instrucciones del equipo. Si se cambia una condición relevante, se verificará o restablecerá la referencia y se repetirá lo afectado. El registro incluirá hora, longitud de onda, accesorios y comprobaciones inicial y final cuando correspondan.

41.3 Controlar el lanzamiento en fibra multimodo

La distribución de energía entre modos puede influir en la pérdida medida en multimodo. Encircled flux caracteriza condiciones de lanzamiento para mejorar comparabilidad. Debe comprobarse la conformidad del conjunto efectivo de fuente, acondicionamiento y latiguillo en el punto pertinente. [170]

No se inferirá una condición correcta por el nombre de la fuente ni por añadir un mandril sin seguir el método. El equipo y los accesorios deben utilizarse como conjunto compatible. La comprobación también debe considerar el tipo de fibra y las longitudes de onda del plan.

El procedimiento de multimodo no se trasladará de forma automática a monomodo. Ambos necesitan referencias y conectores adecuados, pero tienen condiciones de lanzamiento y especificaciones distintas. La configuración guardada debe identificar el medio realmente ensayado.

Tabla 41.1. Controlar el lanzamiento en fibra multimodo

Parámetro	Configuración que se conserva	Motivo
Longitud de onda	Valor y fuente utilizada.	La atenuación depende de la longitud de onda.
Referencia	Método, hora y montaje.	Define la comparación y las conexiones incluidas.
Accesorios	Tipo, identidad y comprobación.	Afectan incertidumbre y repetibilidad.
Multimodo	Condición de lanzamiento aplicable.	Permite interpretar diferencias entre instrumentos.
Sentido	Origen y destino de la medida.	Evita confundir cobertura y fibras.
Límite	Norma, aplicación y regla de decisión.	Sustenta la aceptación.

41.4 Calcular el presupuesto del recorrido

Para un cálculo de diseño se suman pérdidas previstas de fibra, conexiones acopladas, empalmes y otros elementos pasivos. Cada término debe tener una fuente y una longitud de onda. Una conexión acoplada no se contará dos veces por tener dos conectores que se unen.

En un ejemplo ficticio de 0,8 km se asignan 0,35 dB/km a la fibra, 0,20 dB a cada una de cuatro conexiones acopladas y 0,05 dB a cada uno de dos empalmes. Son hipótesis didácticas, no valores normativos universales. La pérdida prevista es $0{,}28 + 0{,}80 + 0{,}10 = 1{,}18$ dB.

Si el diseño reserva 0,50 dB para intervenciones y variación durante su vida, el total planificado es 1,68 dB. Frente a una aplicación hipotética que admite 2,00 dB quedan 0,32 dB sin asignar. Esa reserva no debe consumirse de nuevo en otro concepto sin revisar el presupuesto completo.

Tabla 41.2. Calcular el presupuesto del recorrido

Término del ejemplo	Cálculo	Resultado
Fibra	0,8 km × 0,35 dB/km	0,28 dB
Conexiones	4 × 0,20 dB	0,80 dB
Empalmes	2 × 0,05 dB	0,10 dB
Pérdida prevista	Suma de elementos	1,18 dB
Reserva de diseño	Hipótesis del proyecto	0,50 dB
Total planificado	1,18 + 0,50	1,68 dB
Saldo hasta límite	2,00 − 1,68	0,32 dB

41.5 Comparar cableado aplicación y potencia recibida

El límite de cableado y el de aplicación deben comprobarse según sus alcances. Cumplir uno no implica automáticamente cumplir el otro. La aplicación puede imponer condiciones adicionales de longitud, reflectancia, dispersión, número de conexiones o distribución de fibras.

En un presupuesto simple sin amplificación, el nivel recibido se obtiene restando pérdidas al nivel transmitido. Deben comprobarse sensibilidad y máximo del receptor con las condiciones y penalizaciones de la interfaz. Si el diseño necesita atenuación adicional, se seleccionará y verificará como parte de la solución, sin modificar el enlace por ensayo improvisado.

La potencia de un sistema activo debe medirse con instrumento y puerto adecuados a banda, nivel y composición de señal. En DWDM, potencia total y potencia por canal son distintas. La lectura de diagnóstico del módulo y la de un medidor externo tienen alcances e incertidumbres que deben conocerse antes de compararlas.

41.6 Ejecutar y revisar la serie de medidas

Se medirá cada objeto previsto a las longitudes de onda y sentidos del plan. Se conservarán pérdida, longitud cuando se mida, referencia y límite aplicado. En multifibra, cada posición debe quedar vinculada con su resultado y con el mapa de polaridad.

Una pérdida negativa inesperada puede indicar cambio de referencia, conexiones o deriva. No se interpretará como ganancia de una fibra pasiva. Se revisará el montaje y se documentará la repetición. Los resultados próximos al límite se tratarán con la regla de decisión y la incertidumbre acordadas.

El OLTS entrega pérdida total del alcance y no localiza por sí solo dónde se reparte. Si se necesita investigar un evento, se añadirá OTDR y análisis compatible. La suma de eventos de una traza no sustituirá sin justificación la medida de inserción prevista en el plan.

41.7 Caso de una aceptación que excluía latiguillos

En un caso ficticio, una troncal supera su prueba entre paneles, pero el canal completo no cumple la aplicación después de añadir conexiones. El primer informe se había presentado como aceptación de toda la ruta hasta los equipos.

El equipo corrige el alcance documental y mide el canal completo con sus componentes. Revisa presupuesto y elimina las pérdidas que no permiten cumplir el diseño. La nueva acta conserva ambas medidas con sus planos de referencia y la configuración final aceptada.

41.8 Completar la ficha de potencia y pérdida

1. Fibra, extremos y componentes incluidos.
2. Fuente, medidor u OLTS y estado metrológico.
3. Referencia, accesorios y condición de lanzamiento.
4. Longitudes de onda, sentidos y archivos individuales.
5. Presupuesto, límites y reservas de la aplicación.
6. Incertidumbre, decisión y acciones sobre discrepancias.

El capítulo 42, OTDR y configuración de la medición, permitirá relacionar el resultado global con eventos y distancias a lo largo de la fibra.

41.9 Construir y comprobar el presupuesto del canal

La troncal más larga del Campus Faro tiene 1,90 km por el dominio B. El diseño didáctico adopta, a 1310 nm, 0,35 dB/km de atenuación, cuatro conexiones acopladas de 0,25 dB y cuatro empalmes de 0,05 dB. Estas cifras son supuestos del caso y deben sustituirse por las especificaciones del proyecto. La pérdida prevista resulta 0,665 + 1,000 + 0,200 = 1,865 dB.

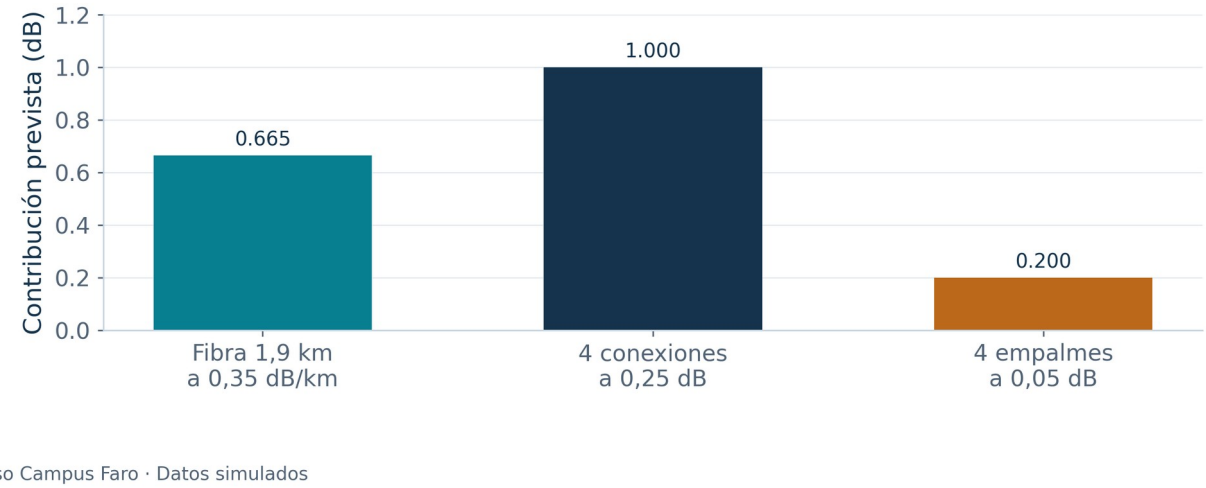


Figura 41.2. Contribuciones del presupuesto de la troncal TR-B-E03. Valores de diseño del caso ficticio. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

La aplicación dispone, en el ejemplo, de un presupuesto de 2,50 dB entre sus planos de referencia. Una reserva de reparación de 0,30 dB fija un límite de entrega de 2,20 dB. El diseño previsto queda 0,335 dB por debajo de ese límite. Ese saldo se revisa junto con tolerancias de componentes y método; no garantiza que una instalación cualquiera produzca la misma pérdida.

41.10 Medir con planos de referencia declarados

1. Dibujar las conexiones que pertenecen al canal y las que pertenecen al montaje de referencia. Identificar qué conexión se introduce al pasar de referencia a medición.
2. Inspeccionar el conjunto, estabilizar la fuente y configurar longitud de onda, tipo de fibra y método. Para multimodo se comprobará además la condición de lanzamiento correspondiente.
3. Establecer y verificar la referencia conforme al conjunto fuente, medidor y accesorios. Guardar hora y control inicial.
4. Ejecutar la serie por fibra, longitud de onda y sentido según la matriz de cobertura. Evitar reconexiones innecesarias durante una misma referencia.
5. Repetir el control de referencia al cierre o ante una variación sospechosa. Separar una pérdida del enlace de una deriva del conjunto de medida.

Tabla 41.3. Medir con planos de referencia declarados

Resultado de ejemplo	Lectura	U	Límite	Decisión
Canal conforme	1,80 dB	0,12 dB	2,20 dB	1,92 dB dentro del límite
Canal próximo a frontera	2,16 dB	0,12 dB	2,20 dB	Indeterminado según regla del caso
Canal con pérdida excesiva	2,48 dB	0,12 dB	2,20 dB	2,36 dB supera el límite

Una lectura de potencia absoluta tampoco representa automáticamente la pérdida de inserción. Si una fuente transmite −1,00 dBm y el medidor recibe −2,80 dBm en planos compatibles, la diferencia es 1,80 dB. Para interpretar potencia recibida en un receptor real deben conocerse también su sensibilidad, máximo admisible, modo y condiciones. El cumplimiento de una prueba pasiva y el funcionamiento del sistema se registran con sus propios criterios.

41.11 Ejercicio de alcance con respuesta

Una troncal cumple 1,80 dB entre paneles y se añaden dos latiguillos y sus conexiones para entregar el servicio al equipo. El resultado anterior continúa describiendo la troncal original. Para aceptar el canal final hay que incluir las conexiones añadidas en una medida adecuada o en el método de conformidad pactado, y comprobar el presupuesto de la aplicación con la configuración final.

41.12 Laboratorio 41 medir un canal entre planos definidos

Objetivo y entrega. Relacionar presupuesto de diseño, referencia de pérdida y lectura del canal completo. El informe distingue potencia absoluta en dBm de pérdida en dB.

Montaje y condiciones. Fuente y medidor OLTS compatibles, latiguillos y adaptadores de referencia, canal terminado, extremos identificados y comprobaciones antes y después. En modo analítico se usa TR-B-E03 de 1,90 km. La referencia debe corresponder al método adoptado; el diagrama identifica qué conexiones quedan incluidas.

Material de análisis. olts_inicial.csv, olts_final.csv El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 41.

1. Calcular 1,90 × 0,35 + 4 × 0,25 + 4 × 0,05 dB y registrar la base de cada aporte.
2. Separar presupuesto disponible 2,50 dB, reserva de reparación 0,30 y límite de entrega 2,20. Descontar la reserva una sola vez.
3. Preparar y verificar referencia en la banda y el sentido previstos. Medir sin cambiar accesorios silenciosamente; si cambian, repetir la referencia afectada.
4. Clasificar cada lectura con su incertidumbre. Confirmar referencia al cierre y vincular todos los archivos a fibra, banda y sentido.

Resultado y criterio de cierre. El diseño suma 1,865 dB. Una lectura M = 2,16 dB con U = 0,12 queda indeterminada frente a 2,20. Un valor de diseño favorable no convierte esa lectura en conforme. Se conserva el dato y se investiga referencia, conexiones y estado del canal antes de repetir.

Desafío de nivel avanzado. Un informe presenta −5 dBm como pérdida del canal. ¿Qué antecedente falta?

Orientación de respuesta. Faltan potencia de referencia, método y planos, además de la lectura asociada. dBm expresa potencia absoluta; no puede tratarse directamente como pérdida en dB.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

41.13 Ruta de diagnóstico a partir de evidencia válida

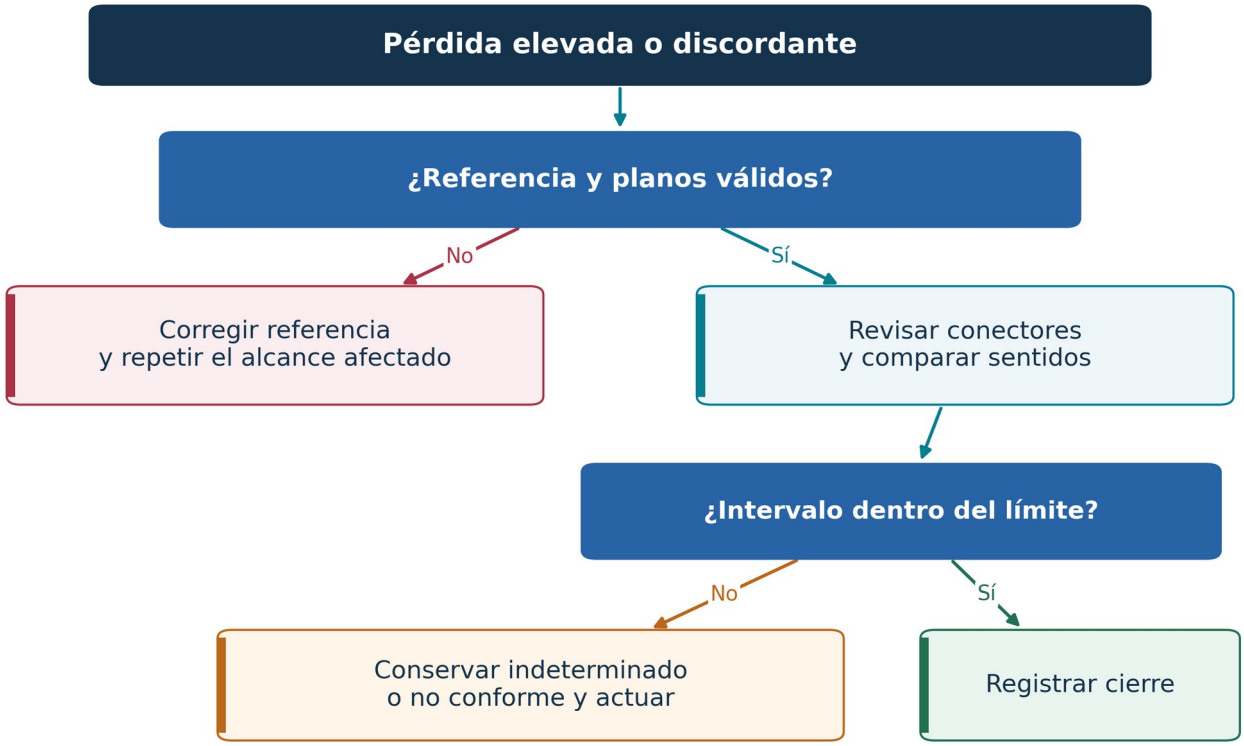


Figura 41.3. Pérdida elevada o discordante. Elaboración propia; esquema didáctico.

Cada rama indica la siguiente comprobación dentro del alcance del capítulo. Registrar el dato que motiva el cambio de rama y conservar las hipótesis no resueltas. Si el montaje o el dato son inválidos, corregir esa condición antes de emitir una decisión sobre la instalación.

Entrega del capítulo. Informe OLTS con referencia y decisión por banda y sentido.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué conexiones incluye realmente la referencia?
2. ¿La condición de lanzamiento multimodo está controlada?
3. ¿Los valores del presupuesto tienen fuente y longitud de onda?
4. ¿La aplicación cumple además de la instalación?
5. ¿Se conserva reserva y una regla para resultados próximos al límite?

Capítulo 42 OTDR y configuración de la medición

Al terminar este capítulo, el lector podrá Elegir parámetros OTDR y reconocer eventos no resueltos.

Términos esenciales. OTDR = reflectometría en el dominio del tiempo; zona muerta = intervalo no caracterizable según condición e instrumento.

El OTDR permite relacionar cambios de retrodispersión y reflexiones con distancias a lo largo de una fibra. Su valor está en caracterizar eventos y conservar una firma del recorrido. La lectura exige conocer el montaje y los límites de resolución; un mapa automático no muestra necesariamente todos los componentes instalados.

Configuramos bobinas de lanzamiento y recepción, pulso, alcance, tiempo e índice de grupo. Aprendemos a conservar trazas interpretables para instalación y diagnóstico. La pérdida de inserción del capítulo 41 seguirá siendo una evidencia complementaria con sus propios planos de referencia.

42.1 Comprender el tiempo, la distancia y la retrodispersión

El instrumento inyecta pulsos y recibe parte de la luz que vuelve por retrodispersión y reflexión. El tiempo de regreso permite estimar la posición óptica del evento. La relación básica es $d = \frac{c\ \Delta t}{(2\ n_g)}$, donde c es la velocidad en vacío y ng el índice de grupo utilizado.

El factor dos corresponde al viaje de ida y vuelta de la señal. El instrumento ya procesa esa relación para presentar distancia y pérdida según su escala. No debe dividirse nuevamente la pérdida que muestra sin comprender la definición de la lectura.

La pendiente, los escalones y los picos aportan información diferente. La interpretación requiere una base de retrodispersión suficiente y estable. El ruido, la saturación o un cambio de características de fibra pueden dificultar el cálculo; la forma de la traza debe revisarse junto con la tabla de eventos. [171]

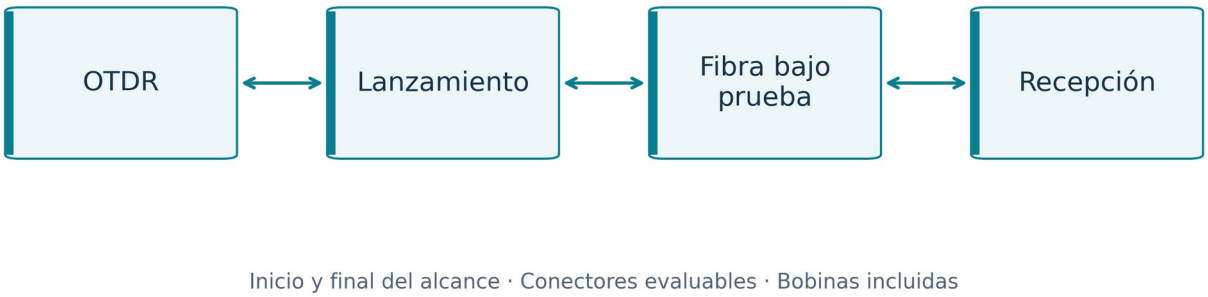


Figura 42.1. Elementos del montaje OTDR. Las fibras de lanzamiento y recepción permiten observar las conexiones inicial y final cuando su longitud y la configuración dan resolución suficiente. Elaboración propia.

42.2 Preparar bobinas y conexiones de prueba

Montaje o lámina de apoyo: figura M.14. La leyenda conserva el alcance y las comprobaciones del ejemplo.

La fibra de lanzamiento separa el primer conector del alcance bajo prueba de la recuperación inicial del instrumento. La de recepción proporciona fibra después de la última conexión para poder evaluarla. Deben ser compatibles y suficientemente largas para la configuración efectiva, sin adoptar una longitud única para todos los ensayos. [172]

Se inspeccionarán instrumento, bobinas y extremos de la instalación. Se registrarán identidad, tipo y longitud de los accesorios. El software debe ubicar inicio y final del alcance para excluir las bobinas del tramo aceptado sin excluir las conexiones que se quieren evaluar.

Una bobina no garantiza por sí sola que dos eventos próximos queden resueltos. El pulso y la respuesta del instrumento siguen imponiendo límites. En enlaces interiores cortos, esa condición debe verificarse antes de aceptar una tabla que agrupa conexiones como un único evento.

42.3 Elegir pulso y alcance

Un pulso mayor aporta más energía para observar recorridos con más pérdida, pero reduce la capacidad de separar eventos cercanos. Un pulso corto favorece detalle y puede dejar el final sin relación señal ruido suficiente. Se elegirán adquisiciones complementarias cuando una sola configuración no cubra todo el objetivo.

El alcance debe incluir instalación, bobinas y una región posterior suficiente para reconocer el final. Elegir un rango excesivo no mejora automáticamente el análisis. Se revisarán muestreo, resolución y tiempo conforme al comportamiento del equipo.

Como escala física ilustrativa, con ng de 1,468 un pulso de 50 ns corresponde a aproximadamente 5,1 m en la relación c t / (2 ng). Esa cifra no es la zona muerta especificada del instrumento: esta depende también de reflexión, electrónica y criterio de evaluación. Debe utilizarse la especificación aplicable al montaje.

Tabla 42.1. Elegir pulso y alcance

Ajuste	Qué debe decidirse	Señal de revisión
Pulso	Energía y detalle de eventos requeridos.	Eventos fusionados o final ruidoso.
Alcance	Longitud total con accesorios.	Final fuera de ventana o escala inadecuada.
Adquisición	Tiempo suficiente para el objetivo.	Variación y ruido que impiden cuantificar.
Índice de grupo	Valor por fibra y longitud de onda.	Distancias incompatibles con el registro.
Umbrales	Detección y aceptación por separado.	Eventos omitidos por configuración.
Inicio y final	Planos del alcance aceptado.	Bobinas incluidas o conectores excluidos.

42.4 Configurar el tiempo, el índice y las longitudes de onda

Promediar más adquisiciones puede reducir ruido aleatorio, pero no elimina una zona muerta ni corrige identidad o índice erróneos. El tiempo se seleccionará para cuantificar los eventos previstos con estabilidad. Una adquisición rápida puede servir de exploración y necesitar otra para aceptación.

Se configurará el índice de grupo con información pertinente de la fibra y la longitud de onda. Si el valor es incorrecto, cambia la distancia calculada. La longitud óptica y la posición geográfica no son idénticas; reservas, trazado y construcción deben relacionarse con planos y empalmes.

Las longitudes de onda deben corresponder al plan y al medio. Comparar trazas puede ayudar a investigar pérdidas dependientes de longitud de onda, incluidas curvaturas, pero no prueba una causa por sí solo. Las pruebas sobre fibra activa necesitan puerto filtrado, método y autorización compatibles con el sistema.

42.5 Distinguir zonas muertas y eventos próximos

La zona muerta de evento se relaciona con distinguir eventos y la de atenuación con recuperar una condición que permita medir pérdida. Los valores deben interpretarse con las condiciones de especificación del fabricante. Una reflexión intensa puede empeorar la región posterior observada.

Si dos componentes quedan fusionados, la tabla debe declararlo y conservar el alcance de la medida conjunta. Para investigar se puede usar pulso menor, otra dirección o un montaje adecuado. No se repartirán artificialmente pérdidas entre componentes que el instrumento no resolvió.

Un evento no detectado por el algoritmo puede seguir visible en la traza. El operador revisará coherencia con el plano y los empalmes conocidos. El umbral de detección no debe confundirse con el límite de aceptación: ocultar un evento mediante configuración no cambia su condición física.

42.6 Conservar una traza que pueda revisarse

Se guardarán archivos nativos con identificación, sentido, longitud de onda, pulso, rango, tiempo y parámetros de análisis. Se incluirán bobinas y límites del alcance. Una captura de pantalla no conserva toda la información necesaria para reanalizar el resultado.

El informe relacionará eventos con ubicaciones cuando exista evidencia. Una distancia de 1,2 km desde un extremo no identifica una cámara sin considerar reservas y mapa del cable. La trazabilidad debe mostrar cómo se hizo la correspondencia y qué precisión o incertidumbre permanece.

Las correcciones manuales de eventos se conservarán con motivo y versión. Deben mantenerse los datos originales para distinguir adquisición de interpretación. La comparación posterior utilizará configuraciones compatibles o explicará los efectos de sus diferencias.

42.7 Caso de dos conexiones escondidas en un evento

En un caso ficticio, un enlace interior presenta menos eventos que conexiones documentadas. La adquisición utiliza un pulso largo elegido para otra ruta. Una segunda adquisición con mayor detalle y desde el extremo contrario separa las conexiones y descubre una pérdida concentrada.

El equipo corrige el montaje y repite la serie con cobertura adecuada. El OLTS confirma la pérdida total del canal y las trazas explican su distribución. El expediente conserva qué configuración permite evaluar cada región y evita aceptar todos los enlaces mediante un perfil único.

42.8 Preparar la ficha OTDR

1. Fibra, extremos y sentido inequívocos.
2. Bobinas y planos del alcance.

3. Longitud de onda, pulso, rango, tiempo e índice.
4. Resolución, zonas muertas y eventos fusionados.
5. Umbrales de detección y límites de aceptación.
6. Archivos nativos, revisión e interpretación geográfica.

El capítulo 43, Análisis bidireccional y reflectancia, utilizará adquisiciones desde ambos extremos para interpretar pérdidas aparentes y devoluciones de luz.

42.9 Banco de ensayo con eventos cercanos

El archivo otdr_traza_didactica.csv contiene una simulación normalizada de un banco de 1,70 km, con bobinas de lanzamiento y recepción de 150 m. La primera conexión del alcance está a 150 m desde el instrumento y la última a 1850 m. Dos eventos interiores aparecen a 650 y 654 m, separados por 4 m. Este banco ilustra resolución y montaje; su longitud no sustituye las longitudes del inventario de troncales del Campus Faro.

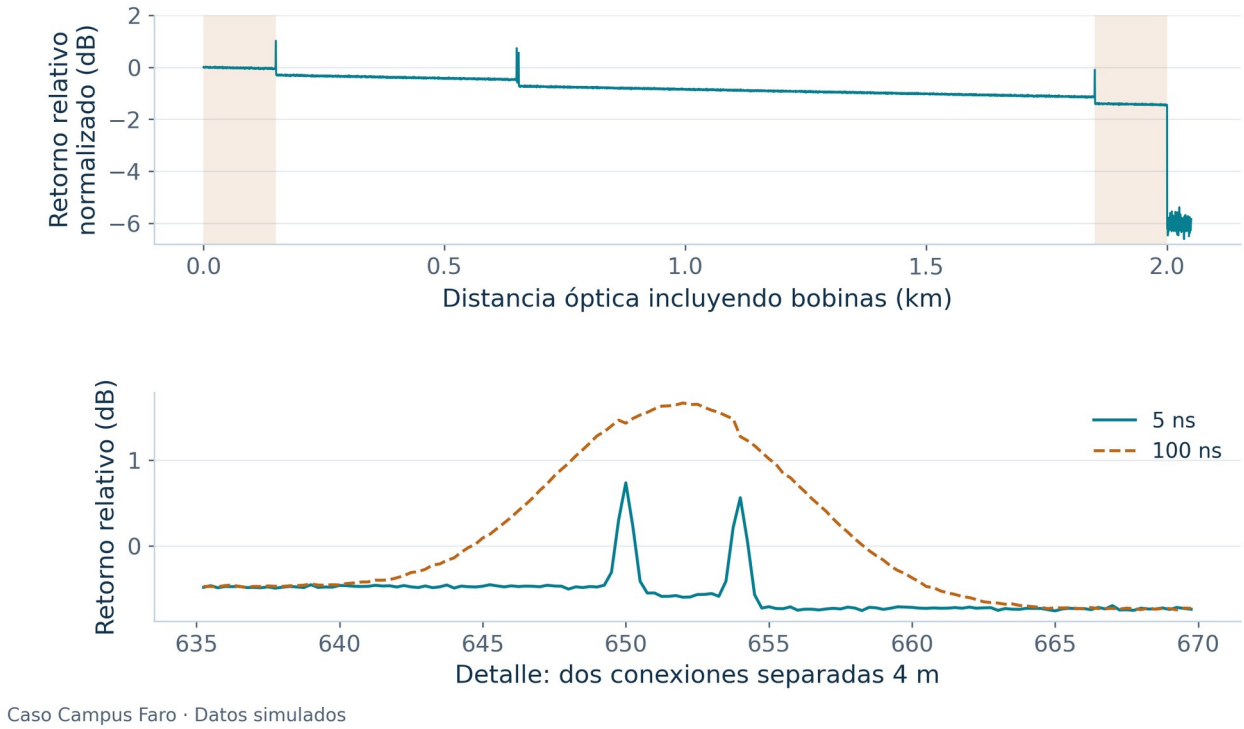


Figura 42.2. Traza didáctica y detalle de dos eventos. Los pulsos de 5 y 100 ns son parámetros de simulación, no prestaciones de un instrumento concreto. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

Con índice de grupo 1,468, los recorridos espaciales asociados a 5 y 100 ns son aproximadamente 0,51 y 10,22 m. Estos valores explican la diferencia de escala, pero no constituyen las zonas muertas especificadas del OTDR. La respuesta del receptor, la reflexión y el criterio de evaluación condicionan la resolución efectiva. El taller exige comprobar en el equipo real qué adquisiciones permiten evaluar cada conexión.

42.10 Procedimiento de adquisición y revisión

1. Preparar un croquis con bobinas, conexiones del alcance, empalmes previstos y extremo remoto. Registrar el índice utilizado y su origen.

2. Adquirir una traza de exploración con alcance que incluya banco y bobinas. Verificar final reconocible y región posterior de ruido.
3. Realizar una adquisición con pulso corto para las conexiones próximas. Si el final pierde calidad, conservar otra adquisición complementaria para la región lejana.
4. Repetir desde el extremo opuesto para los eventos que requieran análisis bidireccional. Mantener fibra y longitud de onda inequívocas al emparejar archivos.
5. Revisar la forma de la traza antes de aceptar la tabla automática. Marcar como conjunto los eventos que no se resuelven individualmente.
6. Relacionar distancia óptica y ubicación mediante mapa de cable y reservas. Mantener separados adquisición original, edición de eventos y decisión de aceptación.

Tabla 42.2. Procedimiento de adquisición y revisión

Lectura	Lo que puede concluirse	Límite de la conclusión
Dos eventos resueltos con pulso corto	Hay dos cambios distinguibles en esa adquisición	No demuestra por sí solo su ubicación geográfica
Un único evento con pulso largo	El montaje observa un comportamiento conjunto	No permite repartir una pérdida entre dos conectores
Pendiente diferente a otra longitud de onda	Existe una diferencia dependiente de longitud de onda	La causa necesita contraste con montaje y medio
Final ruidoso	La región puede tener incertidumbre excesiva	No debe convertirse en un valor preciso por interpolación

42.11 Ejercicio resuelto de identidad

El operador asocia el evento a 654 m con una cámara situada a 654 m de recorrido vial. La coincidencia numérica es insuficiente: la traza incluye 150 m de bobina y el cable conserva reservas. El evento se encuentra aproximadamente a 504 m ópticos desde el primer plano del alcance. La cámara debe identificarse con la documentación ejecutada, manteniendo la incertidumbre de esa asociación.

42.12 Leer una adquisición pública de fibra instalada

El repositorio Apollo de Cambridge publica el conjunto de Kovacs, Faruk, Wonfor y Savory que acompaña a un estudio de PON coherente sobre fibra instalada, DOI 10.17863/CAM.108811. Incluye dos SOR, un iOLM y un informe PDF, además de datos procesados. Se distribuye con licencia CC BY 4.0. El kit conserva los archivos y su atribución en evidencia_publica/cambridge. Esta evidencia pertenece a ese experimento y no al Campus Faro. [219]

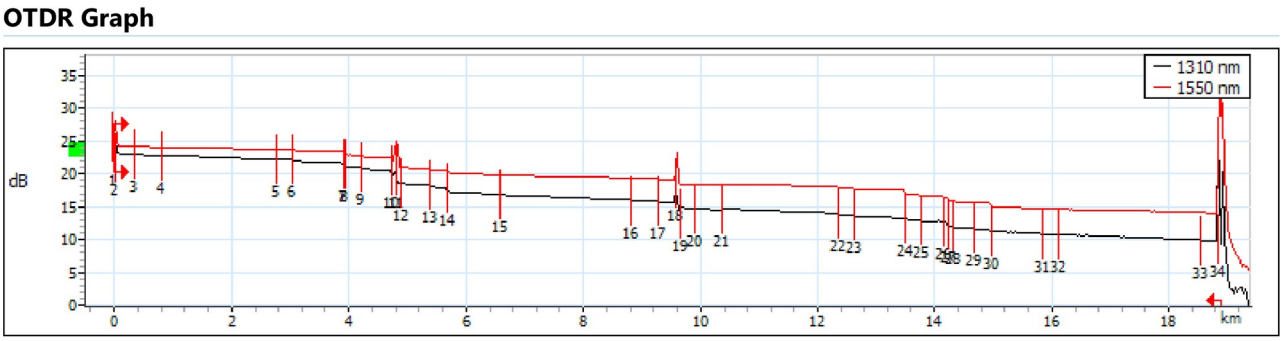


Figura 42.3. Gráfica OTDR del informe público 20231009-149-11. Kovacs, Faruk, Wonfor y Savory; Cambridge Apollo, DOI 10.17863/CAM.108811, CC BY 4.0. Recorte de la página 1; contenido y ejes sin alterar.

El informe 20231009-149-11 registra una adquisición del 8 de octubre de 2023 a las 16:46:33 y longitud de enlace de 18,899 km. Presenta pérdida >31,235 dB en 1310 nm y >20,867 dB en 1550 nm: se conserva el signo mayor que. El informe muestra estado Fail y fibra de recepción configurada en 0,0000 km. Las advertencias sobre lanzamiento y extremo final forman parte del dato que se debe interpretar, no texto que deba ocultarse para simplificar el caso.

Tabla 42.3. Leer una adquisición pública de fibra instalada

Dato publicado	Lectura que se conserva	Implicación para la revisión
Fecha y archivo	Adquisición 2023-10-08; nombre 20231009-149-11	El nombre y la fecha del ensayo no son el mismo campo
Pérdida total	Valores con signo > en ambas bandas	No convertir un límite informado en igualdad exacta
Lanzamiento y recepción	0,0310 km y 0,0000 km configurados	Revisar advertencias y cobertura de conectores extremos
Calibración informada	2017-04-10 UTC	Solicitar política e historial antes de afirmar vigencia
Criterios del archivo	Personalizados para ese ensayo	No sustituirlos por el límite de 2,20 dB de Faro

La lectura guiada comienza por identificar el objeto y las advertencias de montaje. Después se revisan eventos, signos y límites del propio informe. La fecha de calibración es un antecedente; sin política e historial no permite afirmar por sí sola que el instrumento estaba o no vigente. No se dispone en este conjunto de una repetición correctiva favorable que deba inventarse. La práctica consiste en explicar qué puede concluirse y qué evidencia adicional haría falta para una recepción distinta.

42.13 Laboratorio 42 elegir adquisición OTDR y reconocer cobertura

Objetivo y entrega. Distinguir el alcance de la adquisición y la capacidad de separar eventos próximos. Se conserva una adquisición corta para detalle y otra ajustada al alcance requerido.

Montaje y condiciones. OTDR compatible, bobinas de lanzamiento y recepción, canal desenergizado o método autorizado para servicio. El banco simulado tiene 1,70 km de canal y bobinas de 150 m a cada extremo; el tramo de entrega está entre 150 y 1850 m de la adquisición. El informe público Cambridge ofrece una comparación externa independiente.

Material de análisis. otdr_traza_didactica.csv El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 42.

1. Registrar banda, pulso, alcance, adquisición, índice de grupo y umbrales. Dibujar el canal y las bobinas con sus coordenadas.
2. Comparar los eventos separados 4 m en 650 y 654 m para pulsos de 5 y 100 ns del modelo. Conservar ambos archivos.
3. Calcular c·pulso/(2n) con n = 1,468 y explicar por qué esa escala espacial no es la zona muerta especificada del instrumento.
4. Marcar conexiones no resueltas y el alcance que todavía no puede aceptarse. Contrastar pérdida y extremos con OLTS.

Resultado y criterio de cierre. Las escalas calculadas son aproximadamente 0,51 y 10,22 m. La decisión usa la observación real y las especificaciones del instrumento; el modelo muestra por qué un pulso largo puede fusionar eventos cercanos. No se firma una conexión final que no haya quedado caracterizada.

Desafío de nivel avanzado. Una adquisición llega al final, pero no separa dos conexiones cercanas. ¿Se conserva como prueba completa?

Orientación de respuesta. Se conserva como evidencia de su alcance y se complementa con otra adquisición o método. Llegar al final y resolver cada evento son comprobaciones distintas.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

Entrega del capítulo. Adquisiciones complementarias con cobertura señalada.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Las conexiones inicial y final son evaluables?
2. ¿Qué región necesita pulso corto y cuál más energía?
3. ¿El índice corresponde a la fibra y longitud de onda?
4. ¿Los eventos fusionados están declarados?
5. ¿Se conservan adquisición original y análisis?

Capítulo 43 Análisis bidireccional y reflectancia

Al terminar este capítulo, el lector podrá Emparejar eventos y conservar signos y alcances.

Términos esenciales. Gainer = ganancia aparente por retrodispersión; ORL = pérdida de retorno del alcance.

Una fibra pasiva puede mostrar una aparente ganancia en una traza OTDR sin amplificar la señal. También puede presentar poca pérdida de inserción y una reflexión que no cumple la aplicación. El análisis necesita distinguir magnitudes, direcciones y limitaciones del montaje.

Combinamos adquisiciones bidireccionales, pérdida de evento, reflectancia y pérdida de retorno óptico. El objetivo será emitir una conclusión por evento y por enlace que conserve las evidencias y no confunda un artefacto de medición con una mejora física del recorrido.

43.1 Reconocer la ganancia aparente

Montaje o lámina de apoyo: figura M.14. La leyenda conserva el alcance y las comprobaciones del ejemplo.

El OTDR estima pérdidas a partir de niveles de retrodispersión. Si las fibras unidas tienen características diferentes, la discontinuidad puede alterar esa estimación y producir una pérdida negativa en un sentido. El evento no crea energía; cambia la relación entre luz propagada y luz que vuelve al instrumento.

EXFO explica la mitigación de gainers mediante medidas desde ambos extremos y promedio de pérdidas de eventos correspondientes. La adquisición contraria puede mostrar una pérdida aparente mayor. La interpretación requiere conservar signo y asociar el mismo evento físico. [174]

El fenómeno también obliga a revisar compatibilidad de las bobinas con la fibra medida. Una lectura llamativa junto al inicio puede pertenecer a la transición del accesorio. Debe distinguirse esa transición de una condición del cable instalado antes de decidir una reparación.

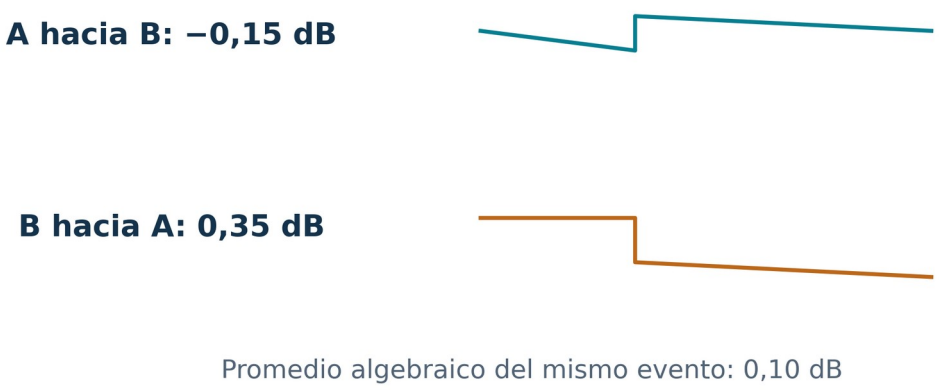


Figura 43.1. Ejemplo didáctico de pérdida de evento en ambos sentidos. El promedio algebraico solo es válido cuando se ha asociado el mismo evento y ambas adquisiciones son evaluables. Elaboración propia.

43.2 Preparar y emparejar las adquisiciones

Cada fibra tendrá dos archivos inequívocos por longitud de onda y configuración requerida. Se comprobarán extremos, longitud del alcance y secuencia de eventos. Desde B, el orden se invierte; la distancia de un evento debe reconciliarse con la longitud y con las bobinas excluidas.

Los eventos deben ser resolubles en ambas direcciones. No debe promediarse una conexión individual de una traza con un grupo de conexiones fusionadas de la otra. Si la asociación es incierta, se hará otra adquisición o se declarará la limitación.

La revisión del software debe comprobar nombres, emparejamiento y cambios manuales. Un procesamiento masivo de archivos equivocados puede producir un informe formalmente completo y físicamente incorrecto. La muestra de control y las validaciones de identidad deben formar parte del procedimiento.

43.3 Calcular la pérdida bidireccional

En un ejemplo ficticio, el mismo empalme mide −0,15 dB desde A y 0,35 dB desde B. El promedio algebraico es $\frac{(-0{,}15 + 0{,}35)}{2} = 0{,}10$ dB. Tomar valores absolutos produciría 0,25 dB y cambiaría incorrectamente el resultado.

La media no elimina toda incertidumbre ni resuelve saturación, ruido o eventos fusionados. Deben cumplirse condiciones del método y conservarse ambas medidas. El límite se aplicará a la magnitud acordada: promedio de evento, pérdida total, reflectancia o combinación pertinente.

La aceptación no debe establecer un límite único para cualquier empalme y sistema. Los valores deben provenir del diseño, especificación y contrato. Los resultados cercanos al límite se tratarán con la regla de decisión del capítulo 39.

Tabla 43.1. Calcular la pérdida bidireccional

Dato del ejemplo	Valor	Interpretación
Pérdida A hacia B	−0,15 dB	Ganancia aparente en esta adquisición.
Pérdida B hacia A	0,35 dB	Pérdida aparente en el sentido contrario.
Promedio algebraico	0,10 dB	Estimación bidireccional del evento.
Promedio de absolutos	0,25 dB	Cálculo que no corresponde al método.

43.4 Distinguir reflectancia y pérdida de retorno

La reflectancia expresa potencia reflejada respecto de la incidente y suele presentarse como un valor negativo en dB. Una reflectancia de −55 dB devuelve menos proporción de luz que una de −45 dB. Los planos y la convención deben acompañar a la cifra.

La pérdida de retorno expresa la relación inversa y suele ser positiva: un valor mayor representa menor retorno relativo. Para un único evento aislado y la misma referencia, sus valores en dB cambian de signo. La ORL del enlace reúne retornos del alcance y no equivale sin más a la reflectancia de su peor conector. [175]

Las contribuciones no se suman directamente como dB de eventos. El método considera potencias retornadas y propagación dentro del alcance. Deben definirse terminación remota y componentes incluidos. Un final abierto puede dominar una medida cuyo objetivo era evaluar un canal terminado.

43.5 Revisar saturación fantasmas y retornos

Una reflexión intensa puede saturar el receptor y degradar la medida de eventos próximos. Se revisará forma del pico y recuperación posterior. Los valores de reflectancia solo se aceptarán si el instrumento y el montaje permiten cuantificarlos en su rango válido.

Las reflexiones múltiples pueden producir eventos fantasma. Se contrastarán distancias, pérdidas asociadas, cambios de configuración y adquisición contraria. La repetición de un pico a una distancia sugerente es un indicio, no una identificación física suficiente.

La limpieza y la compatibilidad de pulidos siguen siendo entradas del diagnóstico. No se conectarán APC y UPC como solución a una lectura. Una sustitución requiere comprobar pérdida y retorno con el montaje correcto y actualizar la identidad del componente.

Tabla 43.2. Revisar saturación fantasmas y retornos

Magnitud	Comparación ilustrativa	Cómo leerla
Reflectancia de evento	−55 dB frente a −45 dB	−55 dB corresponde a menor retorno relativo.
Pérdida de retorno	55 dB frente a 45 dB	55 dB corresponde a menor retorno relativo.
Pérdida de inserción	0,10 dB frente a 0,30 dB	0,10 dB corresponde a menor pérdida transmitida.
ORL del enlace	Alcance y terminación definidos	No sustituye el resultado de cada evento.

43.6 Relacionar el análisis con la aceptación

El informe debe incluir pérdidas por evento, pérdidas por sección y resultados globales según el plan. Se contrastará coherencia con OLTS y con el inventario de componentes. Una diferencia entre métodos debe investigarse con sus alcances e incertidumbres.

La tabla final distinguirá evento observado, evento asociado a un activo y evento pendiente de identificar. Las notas deben conservar regiones no evaluables y adquisiciones complementarias. No se convertirá una ausencia de detección en evidencia de que no existe un componente.

En un caso ficticio se propone rehacer un empalme porque una sola dirección supera el límite. La adquisición contraria revela una ganancia aparente y el promedio cumple el criterio acordado. La revisión evita una intervención innecesaria, conserva los datos y confirma que el enlace completo también cumple sus requisitos.

43.7 Emitir el análisis bidireccional

1. Parejas de archivos con identidad confirmada.
2. Eventos asociados y resolubles en ambos sentidos.

3. Promedios algebraicos y valores originales.
4. Reflectancia y ORL con alcance y terminación.
5. Saturación, fantasmas y regiones no evaluables.
6. Comparación con límites y medidas de inserción.

El capítulo 44, Dispersión cromática, añadirá una característica de propagación que no puede deducirse de pérdida ni de reflectancia.

43.8 Emparejar y resolver la ganancia aparente

El taller utiliza dos eventos identificados en la misma fibra y longitud de onda. EMP-01 presenta −0,15 dB desde A y +0,35 dB desde Z. El promedio algebraico es +0,10 dB. EMP-02 presenta +0,22 y +0,02 dB, con promedio +0,12 dB. El promedio de valores absolutos de EMP-01 sería 0,25 dB y alteraría la estimación. Los signos forman parte del dato.

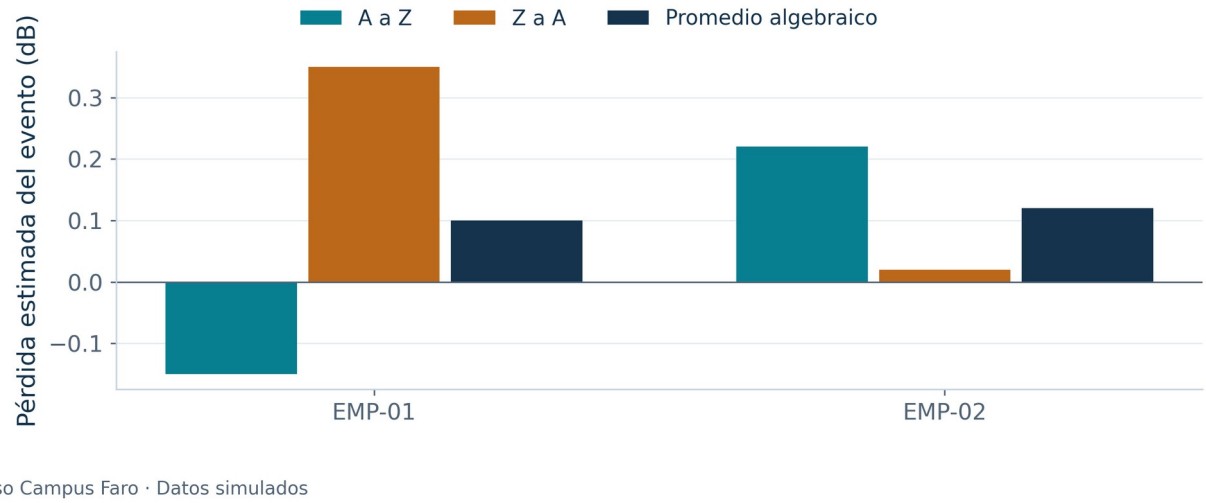


Figura 43.2. Resultados bidireccionales simulados de dos eventos emparejados. El promedio conserva los signos. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

1. Confirmar que ambos archivos representan la misma fibra, banda y configuración compatible. No emparejar únicamente por longitud total similar.
2. Invertir la referencia de distancia del recorrido contrario, descontando bobinas y límites según el montaje. Asociar cada evento con sus vecinos y con el mapa de empalmes.
3. Comprobar que el evento es evaluable desde ambos lados y no está oculto por saturación o zonas muertas.
4. Aplicar el método de promedio correspondiente y conservar ambos valores originales. Declarar eventos conjuntos o no evaluables.
5. Comparar el resultado con el criterio de proyecto y su incertidumbre. Contrastar la pérdida del alcance con OLTS cuando el plan lo exige.

43.9 Interpretar reflectancia y pérdida de retorno

Para un evento aislado bajo la misma referencia, una reflectancia de −55 dB corresponde a una fracción de retorno menor que −45 dB. La pérdida de retorno utiliza la relación inversa y suele expresarse con signo positivo. Por ello, 55 dB de pérdida de retorno representa menos retorno que 45

dB. La ORL global reúne contribuciones distribuidas y discretas de un alcance con una terminación definida; no se obtiene sumando números de reflectancia en dB.

Tabla 43.3. Interpretar reflectancia y pérdida de retorno

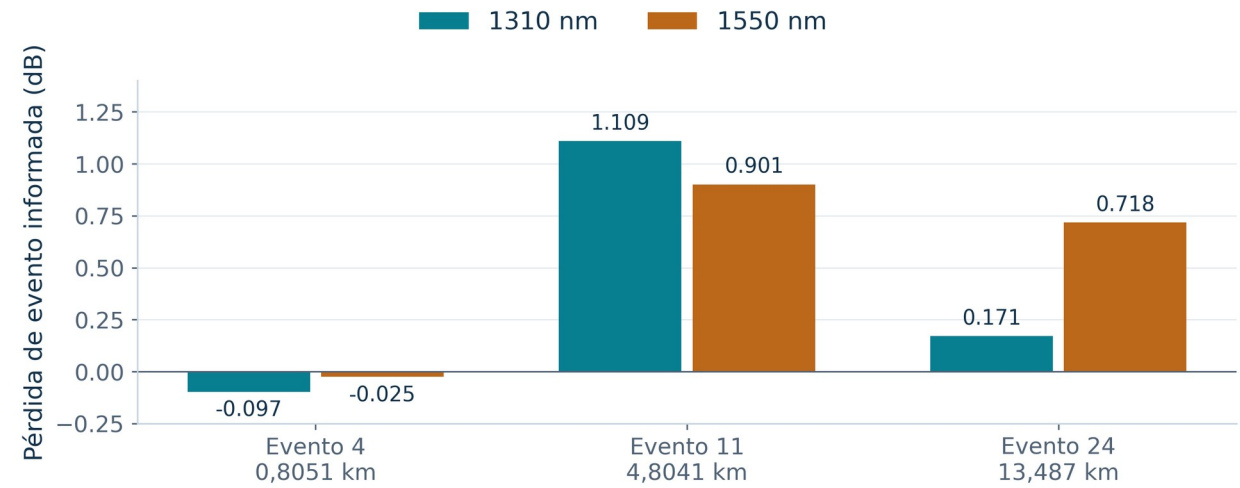
Dato	Ejemplo	Comprobación necesaria
Pérdida del evento	Promedio +0,10 dB	Evento correspondiente y resuelto en ambos sentidos
Reflectancia	−55 dB	Referencia y capacidad de separar el pico
ORL del alcance	Resultado global del método	Terminación, extremos y contribuciones incluidas
Eco o evento fantasma	Distancias repetidas tras reflexión intensa	Contraste desde el otro extremo y con otro montaje

Si una reflexión intensa genera una región posterior saturada, la intervención inicial se dirige a validar y corregir el montaje o la conexión reflectiva identificada. Una tabla automática que muestra una segunda anomalía no basta para ordenar una reparación en un punto geográfico. El expediente conserva las adquisiciones que sostienen el diagnóstico.

43.10 Ejercicio de decisión con respuesta

Un límite de pérdida de empalme de proyecto es 0,15 dB y el promedio bidireccional de EMP-01 es 0,10 dB. Con U = 0,03 dB, su extremo superior es 0,13 dB y cumple la regla del taller. Si desde Z no se resuelve el evento, no existe un promedio bidireccional válido de ese empalme; se declara la limitación y se modifica la adquisición.

43.11 Contrastar eventos simulados con valores publicados



Datos públicos Cambridge Apollo · DOI 10.17863/CAM.108811 · CC BY 4.0

Figura 43.3. Tres eventos seleccionados de un informe OTDR real publicado. Datos de Kovacs y colaboradores, Cambridge Apollo, DOI 10.17863/CAM.108811, CC BY 4.0. Nueva representación de valores de la página 2 y 3; no es análisis bidireccional.

La representación utiliza pérdidas de eventos del informe público de Cambridge, conservadas con signo y longitud de onda. El evento 4 muestra −0,097 y −0,025 dB; el 11, 1,109 y 0,901; el 24, 0,171 y 0,718. Son dos bandas del mismo informe, no adquisiciones en sentidos opuestos. Por tanto no se promedian como si fueran un par bidireccional. [219]

El informe clasifica el evento 24 como macrobend y su pérdida mayor en 1550 nm orienta la inspección del tramo. La etiqueta automática constituye una hipótesis de clasificación: una intervención real debe confirmar ubicación, montaje y causa. Para el evento con pérdida negativa se solicita el sentido opuesto y se aplica el emparejamiento del laboratorio 43. El archivo publicado conserva su resultado original y no contiene una reparación validada por este libro.

43.12 Laboratorio 43 emparejar eventos bidireccionales con signo

Objetivo y entrega. Obtener pérdidas de eventos a partir de dos sentidos emparejados y explicar una ganancia aparente sin atribuir amplificación a una fibra pasiva.

Montaje y condiciones. Dos adquisiciones de la misma fibra, banda y estado. En campo se necesitan montajes compatibles, planos conocidos y coordenadas invertidas correctamente. El modo analítico utiliza dos eventos del archivo y conserva los signos originales.

Material de análisis. eventos_bidireccionales.csv El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 43.

1. Invertir la coordenada del sentido Z–A respecto del tramo que se compara. Excluir las bobinas según el montaje.
2. Asociar cada evento con el mismo elemento físico; revisar grupos fusionados antes de aceptar un emparejamiento automático.
3. Calcular (−0,15 + 0,35)/2 y (0,22 + 0,02)/2 dB sin tomar valores absolutos.
4. Registrar promedio, resolución, incertidumbre pertinente y estado del emparejamiento. Mantener separada la ORL integrada y la reflectancia de cada evento.

Resultado y criterio de cierre. Los promedios son 0,10 y 0,12 dB. La diferencia entre sentidos es un dato para interpretar retrodispersión y montaje. El promedio solo se utiliza después de demostrar que corresponde al mismo evento y a adquisiciones comparables.

Desafío de nivel avanzado. El software asocia un grupo de dos conectores en un sentido con un solo empalme en el otro. ¿Se promedia?

Orientación de respuesta. Primero se resuelve la asociación y la cobertura. Promediar objetos físicos distintos produce una cifra sin el alcance pretendido.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

43.13 Ruta de diagnóstico a partir de evidencia válida

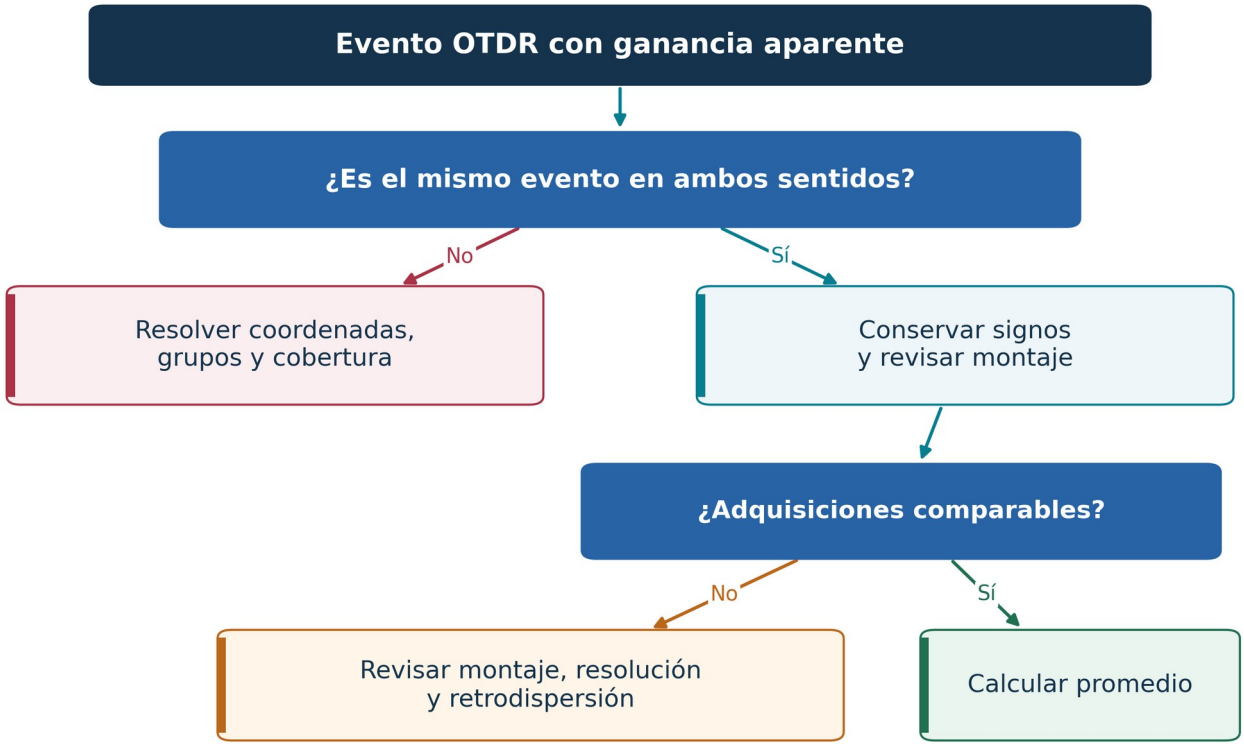


Figura 43.4. Evento OTDR con ganancia aparente. Elaboración propia; esquema didáctico.

Cada rama indica la siguiente comprobación dentro del alcance del capítulo. Registrar el dato que motiva el cambio de rama y conservar las hipótesis no resueltas. Si el montaje o el dato son inválidos, corregir esa condición antes de emitir una decisión sobre la instalación.

Entrega del capítulo. Tabla bidireccional y justificación del emparejamiento.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Los archivos pertenecen a la misma fibra y longitud de onda?
2. ¿Cada evento está resuelto desde ambos extremos?
3. ¿Se conservaron signos al promediar?
4. ¿La ORL tiene terminación y alcance explícitos?
5. ¿Se descartaron saturación y artefactos antes de reparar?

Capítulo 44 Dispersión cromática

Al terminar este capítulo, el lector podrá Caracterizar dispersión cromática en la banda requerida.

Términos esenciales. CD = dispersión cromática; ps/nm = unidad de dispersión acumulada.

La dispersión cromática describe cómo cambia el retardo de propagación con la longitud de onda. Puede limitar una transmisión aun cuando pérdida y reflectancia cumplan. Su aceptación necesita conocer la fibra instalada, la banda de operación y la tolerancia del modo de transmisión.

Diferenciamos coeficiente de fibra y dispersión acumulada, revisamos métodos y preparamos una solicitud de caracterización al carrier. La decisión será comprobar compatibilidad del recorrido completo y del alternativo, con resultados que puedan relacionarse con el sistema óptico.

44.1 Comprender la magnitud y sus unidades

La luz de diferentes longitudes de onda no presenta necesariamente el mismo retardo de grupo en la fibra. El coeficiente D expresa su variación por longitud y suele indicarse en ps/(nm · km). La dispersión acumulada de un enlace se expresa en ps/nm. Confundir esas dos unidades produce errores de dimensionamiento.

Para una fibra uniforme a una longitud de onda determinada, la dispersión acumulada puede estimarse multiplicando coeficiente por longitud. En una ruta con segmentos diferentes se evalúa cada contribución con su signo y condiciones. El dato debe indicar la longitud de onda o la curva espectral que representa.

La pendiente de dispersión describe cómo cambia D con la longitud de onda. Por eso un resultado en un punto no describe toda una banda DWDM. El proyecto debe verificar la región que utiliza y los cambios de canal previstos. La caracterización debe conservar el rango medido.

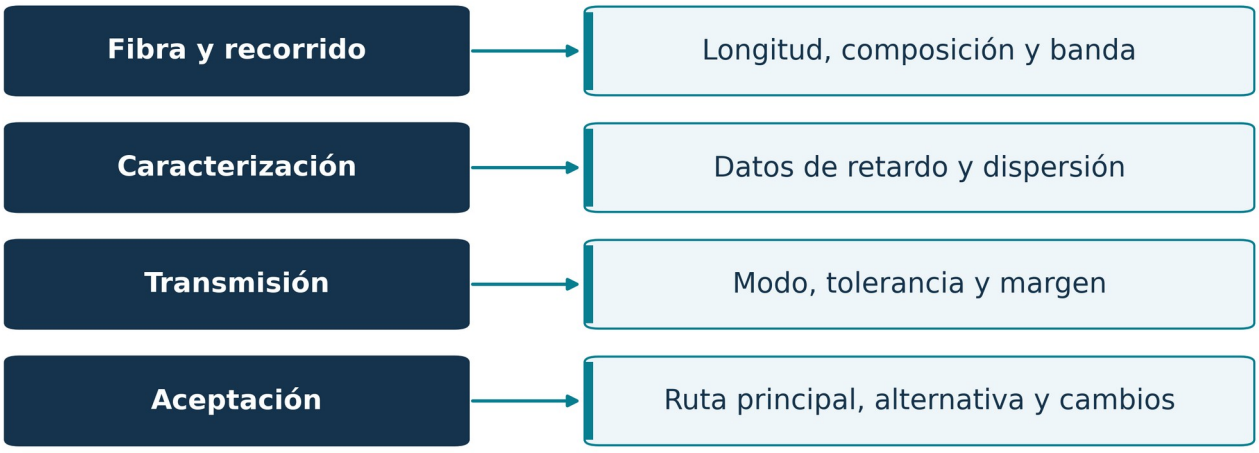


Figura 44.1. De la caracterización de fibra a la compatibilidad del sistema. La dispersión depende de la longitud de onda y debe evaluarse para el recorrido completo y el modo seleccionado. Elaboración propia.

44.2 Calcular una estimación con hipótesis explícitas

En un ejemplo ficticio se adopta D de 17 ps/(nm · km) a 1550 nm para 80 km de una fibra uniforme. La dispersión acumulada estimada es $17 \times 80 = 1360$ ps/nm. El valor de 17 es una hipótesis del ejemplo y no una especificación universal de toda fibra monomodo.

Para ilustrar unidades, una separación espectral pequeña de 0,10 nm correspondería aproximadamente a 136 ps de diferencia de retardo bajo un modelo local lineal. Eso no calcula por sí solo la penalización de una señal moderna ni sustituye simulación, tolerancias y prueba del transceptor.

Si se añade un tramo de otro tipo o un elemento compensador, se actualizará la suma a la misma longitud de onda. No se combinarán coeficientes de puntos espectrales distintos. El expediente debe distinguir valores estimados con documentación de valores medidos sobre la ruta real.

Tabla 44.1. Calcular una estimación con hipótesis explícitas

Dato	Unidad habitual	Pregunta que resuelve
Coeficiente D	ps/(nm · km)	Cómo contribuye una longitud de fibra.
Dispersión acumulada	ps/nm	Qué efecto acumulado presenta el recorrido.
Pendiente del coeficiente	$ps/(nm^2 \cdot km)$	Cómo cambia D con la longitud de onda.
Longitud	km	Qué recorrido entra en la estimación.
Tolerancia del sistema	Según especificación del modo	Qué rango puede admitir la transmisión.

44.3 Elegir un método de caracterización

Montaje o lámina de apoyo: figura M.15. La leyenda conserva el alcance y las comprobaciones del ejemplo.

ITU-T G.650.1 de enero de 2024 describe métodos de dispersión cromática, con desplazamiento de fase como referencia y retardo de pulsos como alternativa. La medición puede obtener retardo frente a longitud de onda y derivar la dispersión mediante un modelo adecuado. El alcance principal de esa recomendación debe distinguirse de las pruebas de enlaces instalados. [176]

Los métodos y sus implementaciones tienen requisitos de fuente, detector, rango, referencia y acceso. Una medida desde un solo extremo no debe asumirse equivalente a cualquier método entre extremos. Debe comprobarse qué tipos de fibra y composiciones de ruta admite el instrumento.

La nota de EXFO sobre análisis de CD explica el efecto del muestreo y del ajuste de la curva en el resultado. Es una referencia de principios publicada en 2005; sus juicios sobre productos y compensación no deben trasladarse como descripción de todas las plataformas actuales. La selección se hará con especificaciones y métodos aplicables al equipo usado. [177]

44.4 Preparar montaje banda y datos originales

La orden identificará fibra, longitud, extremos y componentes incluidos. Se confirmará si se mide fibra pasiva o un recorrido con filtros, amplificación o compensación que afecten el método. Los elementos que no puedan atravesarse se tratarán mediante otra evidencia o por segmentos identificados.

El plan fijará banda, puntos o pasos de adquisición y modelo de ajuste. También indicará estabilidad requerida, potencia disponible y comprobaciones del montaje. Una curva suave generada por software no demuestra que haya datos suficientes ni un modelo apropiado para una mezcla de fibras.

Se guardarán puntos originales, curva, parámetros, incertidumbre y condiciones de medición. Si el informe presenta solo un valor resumido, debe permitir conocer su longitud de onda y origen. Los resultados extrapolados fuera del rango medido se identificarán como tales.

44.5 Comparar con la transmisión real

El sistema debe proporcionar tolerancia para modo, modulación, tasa de símbolos, procesamiento y condiciones pertinentes. No se fijará un máximo de kilómetros exclusivamente a partir de una capacidad nominal. Diferentes modos sobre el mismo host pueden admitir recorridos distintos.

Los receptores coherentes pueden incorporar compensación digital dentro de sus capacidades. Esa función no convierte la dispersión en ilimitada ni hace equivalentes todas las fibras. Se conservarán modo, versión y márgenes, además de errores y estabilidad durante la prueba de transmisión.

Los módulos de compensación óptica presentes en una ruta deben inventariarse. Añaden características que participan en el presupuesto completo y pueden tener una finalidad histórica. Su permanencia o retiro requiere ingeniería y validación del sistema, sin asumir que todo enlace nuevo los necesita.

44.6 Solicitar evidencia al carrier

La solicitud distinguirá fibra oscura, canal y servicio administrado. En fibra oscura puede requerirse caracterización del medio entregado; en un canal, el carrier debe demostrar compatibilidad y margen del sistema dentro de su responsabilidad. El cliente no tiene acceso automático a todos los puntos físicos.

Se pedirá identidad de ruta y fecha, alcance, método, instrumento, banda, datos y límites utilizados. Cuando la documentación original no esté disponible, se acordará una medida o evidencia alternativa y se declarará su alcance. Un valor de catálogo de la fibra no equivale a caracterización del enlace instalado.

La ruta de protección debe revisarse independientemente. Puede tener longitud y composición diferentes de la principal. También se evaluará la necesidad de actualizar evidencia después de reparación, cambio de ruta o modificación de modo óptico.

44.7 Caso de una ruta alternativa con otra composición

En un caso ficticio, el enlace principal funciona y el alternativo presenta errores al activarse un modo nuevo. Las pérdidas de ambos cumplen. La documentación revela una composición de fibras y compensación distinta en la alternativa, que no había sido evaluada para ese modo.

El equipo caracteriza el alcance pertinente y revisa la solución de transmisión con el proveedor. Repite activación, carga y conmutación con los márgenes acordados. La aceptación deja de extrapolar el resultado de una ruta a la otra y conserva una ficha por configuración.

44.8 Completar el expediente de dispersión cromática

1. Fibra, segmentos, longitud y componentes.
2. Banda y longitudes de onda de interés.
3. Método, instrumento, referencia y modelo de ajuste.
4. Datos originales, curva e incertidumbre.
5. Tolerancia, modo y márgenes del sistema.
6. Evidencias de ruta principal, alternativa y cambios.

El capítulo 45, Dispersión por modo de polarización, incorporará una característica con comportamiento estadístico que requiere otra forma de interpretar resultados.

44.9 Caracterizar una banda y resolver un cálculo de dispersión

El tramo terrestre BT-A01 del caso tiene 80 km y se representa como fibra uniforme únicamente para este ejercicio. A 1550 nm se adopta D = 17 ps/(nm·km). La dispersión acumulada es 1360 ps/nm. Para una separación espectral pequeña de 0,10 nm y una aproximación local lineal, la diferencia de retardo correspondiente es 136 ps. Esta operación no calcula por sí sola la penalización de una señal modulada.

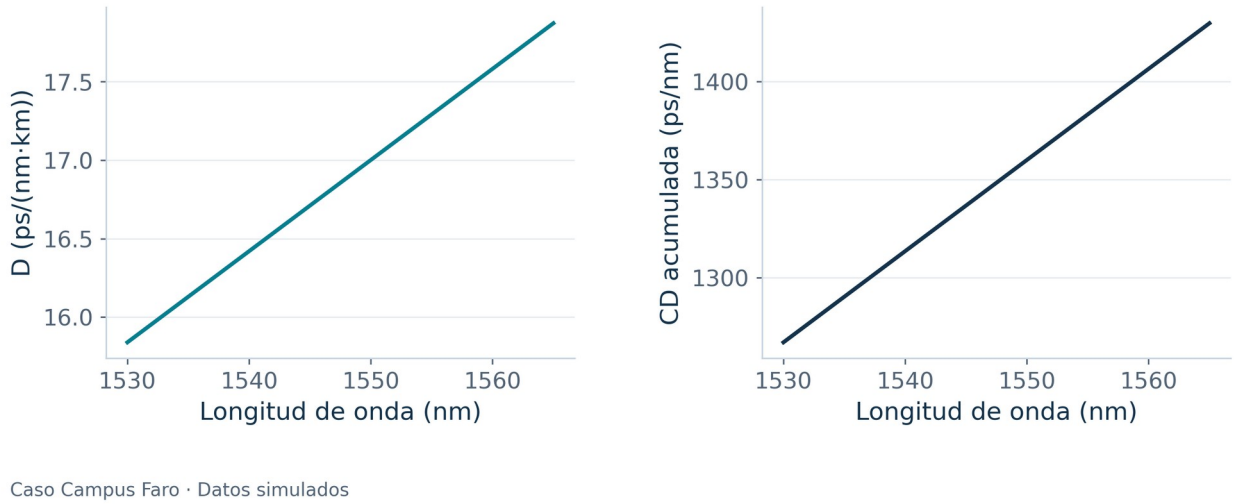


Figura 44.2. Curvas simuladas del coeficiente y de la dispersión acumulada. El archivo dispersion_cromatica.csv conserva la banda de 1530 a 1565 nm. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

El modelo didáctico añade una pendiente de 0,058 ps/(nm^2·km). Por eso el coeficiente cambia con la longitud de onda y una cifra central no representa toda la banda. Si el recorrido combina fibras distintas, compensadores u otros componentes, la combinación se realiza con curvas y modelos compatibles; no se promedian coeficientes sin ponderar la longitud ni se extrapola una curva fuera de su alcance.

44.10 Procedimiento de adquisición y compatibilidad

1. Definir los extremos del tramo pasivo y localizar componentes que limiten el método. Confirmar acceso y condiciones de intervención con el propietario.
2. Seleccionar instrumento y técnica compatibles con banda, pérdida, sensibilidad y composición de la ruta. Conservar las condiciones de conexión y la referencia.
3. Adquirir la curva según el método. Comprobar la calidad de los datos y del ajuste, incluyendo las regiones con baja señal o valores no disponibles.
4. Guardar longitudes de onda, datos originales, parámetros de ajuste e incertidumbre. Distinguir resultado medido de curva estimada.
5. Relacionar la curva con la especificación del modo receptor seleccionado. Repetir la evaluación para la ruta alternativa y después de un cambio de composición.

Tabla 44.2. Procedimiento de adquisición y compatibilidad

Pregunta de revisión	Evidencia que responde
¿1360 corresponde a ps/nm o a ps/(nm·km)?	Informe que identifica la magnitud y los 80 km usados
¿Puede utilizarse otra banda?	Datos y validez del método en la banda solicitada
¿La compensación es suficiente?	Límite y condiciones del modo de transmisión concreto
¿La reparación mantiene compatibilidad?	Longitud y composición actualizadas con nuevo análisis

44.11 Ejercicio de composición con respuesta

Una ruta combina 50 km con D = 17 y 30 km con D = 20 ps/(nm·km), a la misma longitud de onda. La dispersión acumulada estimada es 50 × 17 + 30 × 20 = 1450 ps/nm. El coeficiente equivalente de esa estimación sería 18,125 ps/(nm·km). El promedio simple 18,5 daría un resultado distinto y no corresponde a las longitudes del caso. Si el receptor admite, bajo su modo y condiciones, hasta 1400 ps/nm, esta estimación no demuestra compatibilidad; hay que revisar el sistema o la ruta y validar el resultado.

44.12 Laboratorio 44 caracterizar dispersión en la banda de uso

Objetivo y entrega. Calcular dispersión acumulada y reconocer la dependencia con longitud de onda. El resultado se presenta en ps/nm y el coeficiente en ps/(nm·km).

Montaje y condiciones. Analizador de CD y accesorios adecuados al método del proyecto. Para el ejercicio, tramo terrestre BT-A01 uniforme de 80 km y modelo $D(\lambda) = 17 + 0{,}058(\lambda - 1550)$, con λ en nm. Las conversiones o regeneraciones definen fronteras de caracterización distintas.

Material de análisis. dispersion_cromatica.csv El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 44.

1. Revisar longitud, banda, método y planos. Confirmar que el conjunto representa el mismo tramo y estado.
2. Calcular D y D×80 en 1530, 1550 y 1565 nm. Conservar el signo y las dos unidades.
3. Representar la curva o revisar el CSV y compararlo con la tolerancia del modo que se pretende transportar.

4. Identificar bandas o secciones no medidas y planificar evidencia adicional. Conservar el ajuste y su calidad en un ensayo real.

Resultado y criterio de cierre. En 1550 nm se obtienen 17 ps/(nm·km) y 1360 ps/nm. En 1530 y 1565 el modelo produce 1267,2 y 1429,6 ps/nm. La serie describe este supuesto uniforme; el cierre de transmisión requiere el límite del modo seleccionado y su evidencia de compatibilidad.

Desafío de nivel avanzado. El equipo regenera en un nodo intermedio. ¿Se aplica sin cambios una sola dispersión acumulada de todo el recorrido?

Orientación de respuesta. Se identifican las fronteras ópticas y la compensación o regeneración de cada sección. No se confunde una suma geométrica de longitudes con una única sección de propagación.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

Entrega del capítulo. Curva y comparación con el modo de transmisión.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Se distingue coeficiente de dispersión acumulada?
2. ¿El dato representa la banda de operación?
3. ¿El método admite la composición real de la ruta?
4. ¿La tolerancia corresponde al modo seleccionado?
5. ¿La alternativa conserva su propia caracterización?

Capítulo 45 Dispersión por modo de polarización

Al terminar este capítulo, el lector podrá Interpretar PMD con método estadística y unidades.

Términos esenciales. PMD = dispersión por modo de polarización; DGD = retardo diferencial de grupo.

La dispersión por modo de polarización, PMD, puede variar con condiciones de la fibra y con la longitud de onda. Una lectura instantánea favorable no describe todas las condiciones futuras de transmisión. La aceptación debe distinguir el dato observado, la característica estadística del enlace y la tolerancia del sistema.

Definimos DGD, PMD y sus unidades, revisamos métodos de caracterización y construimos la evidencia que se solicita a un carrier. El objetivo será reconocer cuándo pérdida y OTDR resultan insuficientes y cómo evaluar rutas existentes sin imponer un límite universal ajeno a su transmisión.

45.1 Distinguir PMD y retardo diferencial de grupo

La birrefringencia y el acoplamiento a lo largo de la fibra producen propagaciones de polarización con retardos diferentes. En un modelo de primer orden, la DGD describe la diferencia entre los estados principales de polarización en una condición concreta y se expresa en ps.

La PMD caracteriza estadísticamente ese comportamiento según la definición y el método utilizados. Debe aclararse qué promedio o parámetro informa el instrumento. ITU-T G.650.2 reúne definiciones y métodos de atributos estadísticos y no lineales de fibra monomodo; su edición de agosto de 2015 figura en vigor en el catálogo consultado. [178]

El coeficiente normalizado se suele expresar en ps/√km bajo el modelo aplicable. El informe debe identificar si presenta PMD del enlace en ps o un coeficiente por raíz de longitud. Tampoco debe confundirse con PDL, que describe pérdida dependiente de polarización y se expresa en dB.

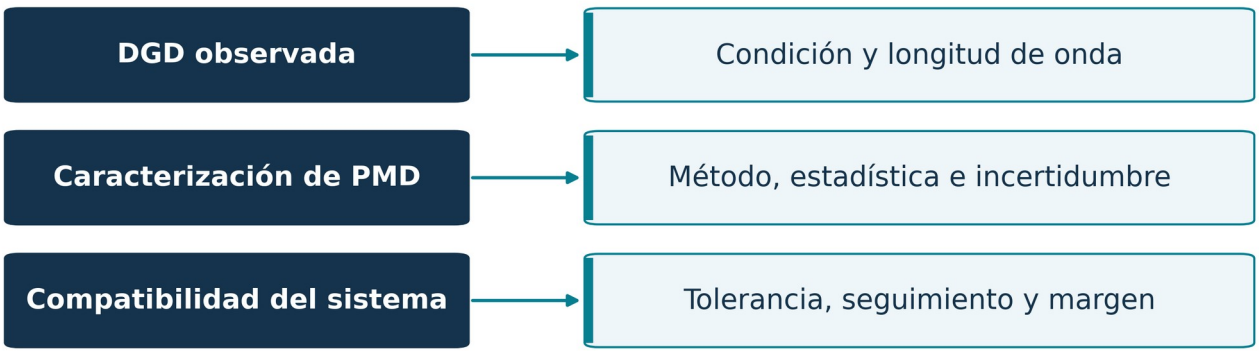


Figura 45.1. Lectura de PMD en el expediente. Observación de DGD, caracterización estadística y tolerancia de transmisión responden preguntas diferentes. Elaboración propia.

45.2 Interpretar variación y longitud

La DGD puede variar con longitud de onda y condiciones del recorrido. Temperatura y esfuerzos pueden modificar el estado del sistema. Por ello debe conocerse la base de adquisición y evitar convertir una sola observación en un máximo garantizado para toda la vida del enlace.

Bajo un modelo de acoplamiento aleatorio apropiado, el parámetro de PMD se relaciona con la raíz de la longitud. RFC 4054 utiliza esta relación para explicar restricciones de rutas ópticas. Sus ejemplos de equipos y tasas pertenecen a 2005 y no constituyen límites actuales de sistemas coherentes. [179]

En un ejemplo didáctico, si un coeficiente de 0,10 ps/√km se define para la media de DGD normalizada de una fibra de 80 km, la estimación correspondiente es $0{,}10 \times \sqrt{80} \approx 0{,}89$ ps. Es una estimación del parámetro definido, no una predicción de DGD instantánea ni un certificado del sistema.

Tabla 45.1. Interpretar variación y longitud

Término	Unidad	Interpretación necesaria
DGD	ps	Diferencia de retardo en la condición observada.
PMD del enlace	ps	Parámetro estadístico con definición y método.
Coeficiente de PMD	ps/√km	Normalización bajo modelo y longitud declarados.
PDL	dB	Pérdida dependiente de polarización.
Tolerancia del receptor	Según modo y especificación	Condiciones de admisión y margen de transmisión.

45.3 Seleccionar método e instrumentación

Montaje o lámina de apoyo: figura M.15. La leyenda conserva el alcance y las comprobaciones del ejemplo.

La caracterización puede utilizar técnicas interferométricas, de analizador fijo u otras implementaciones normalizadas compatibles con el objeto. No todas generan exactamente la misma información ni tienen igual capacidad para PMD pequeña, banda o régimen de acoplamiento.

IEC TR 61282-9:2016 proporciona orientación sobre teoría y mediciones de PMD. Es un informe técnico; su alcance no debe confundirse con una certificación de una red específica. El procedimiento de campo deberá identificar la técnica y las condiciones de aplicación del instrumento. [180]

Se comprobarán rango, sensibilidad, incertidumbre y requisitos de fuente y recepción. El método necesita ser compatible con pérdidas y componentes presentes. La aparente repetibilidad de una cifra por debajo de la capacidad de medida del conjunto no demuestra un resultado fiable.

45.4 Preparar adquisición y trazabilidad

La orden identificará fibra, extremos, longitud y composición conocida. Se declararán componentes que pueden afectar la medición y si el alcance es pasivo o contiene elementos de línea. La intervención se coordinará con el operador para no introducir señales incompatibles en un sistema activo.

El plan registrará banda, condiciones de adquisición, repeticiones y tratamiento estadístico. El método determinará cómo se obtiene el parámetro informado y qué datos deben conservarse. Las repeticiones deben ser pertinentes al objetivo, sin asumir que más lecturas idénticas cubren toda variabilidad temporal.

Se guardarán datos nativos, configuración, algoritmo o versión de análisis y condiciones relevantes. El resultado debe vincularse con la fibra real y fecha. Un certificado de fabricación del cable conserva utilidad, pero no describe necesariamente empalmes, reparaciones y componentes del enlace construido.

45.5 Relacionar PMD con el sistema óptico

La tolerancia debe provenir de la transmisión seleccionada y de su presupuesto. Se revisarán modulación, tasa de símbolos, procesamiento y condiciones de operación. No se deducirá un límite único a partir de la velocidad Ethernet del cliente.

La compensación de un receptor necesita margen y capacidad de seguimiento compatibles con las variaciones. La existencia de DSP no elimina la necesidad de evaluar la ruta ni la interacción con otros deterioros. La prueba observará errores, estabilidad y telemetría válida según el sistema.

Las combinaciones de segmentos y componentes requieren un modelo apropiado. No deben sumarse coeficientes de PMD como pérdidas en dB ni sumar DGD instantáneas como si los estados permanecieran alineados. El diseño debe conservar hipótesis, datos y criterio estadístico utilizados.

45.6 Definir cuándo solicitar caracterización

La necesidad se decidirá por requisitos de interfaz, longitud, composición y conocimiento de la ruta, además del contrato. Puede ser especialmente relevante al reutilizar fibra de características inciertas o cambiar a un modo con tolerancias diferentes. No toda cross connect corta exige por defecto una prueba especializada de PMD.

Para un servicio administrado se pedirá al carrier evidencia suficiente de diseño y aceptación dentro de su responsabilidad. Cuando no entregue datos de planta, se establecerá qué resultado de transmisión y qué declaración de margen sostienen el compromiso. La limitación de acceso debe quedar explícita.

La alternativa, una reparación o un desvío pueden cambiar el recorrido óptico. El proceso de cambio evaluará si las evidencias anteriores siguen siendo aplicables. La continuidad debe conservar compatibilidad y desempeño después de conmutar, además de disponibilidad física.

45.7 Caso de fibra reutilizada con información insuficiente

En un caso ficticio, una ruta antigua se propone para una ampliación porque cumple pérdida e identidad. No existe información suficiente de dispersión y se pretende atribuirle las características de una fibra nueva instalada en otra sección.

El equipo delimita los segmentos y solicita caracterización compatible con el modo previsto. Revisa resultados, incertidumbre y tolerancias con el proveedor de transmisión. La solución final se valida bajo las condiciones acordadas y conserva las restricciones para futuras ampliaciones. La evidencia permite reutilizar con criterio, sin extrapolar por apariencia del cable.

45.8 Completar el expediente de PMD

1. Definición del parámetro y unidad.
2. Fibra, longitud, componentes y fecha.
3. Método, instrumento, banda e incertidumbre.

4. Adquisiciones y tratamiento estadístico.
5. Tolerancia, seguimiento y margen del sistema.
6. Ruta alternativa, cambios y pruebas de transmisión.

El capítulo 46, Certificación de enlaces internos, integrará estas pruebas con las necesidades reales de cada tramo del data center.

45.9 Interpretación del resultado de un método de PMD

El taller conserva cinco resultados informados de PMD para BT-A01: 0,86; 0,90; 0,87; 0,92 y 0,89 ps. Su media es 0,888 ps y la desviación típica muestral es aproximadamente 0,0239 ps. Dividir la media por la raíz de 80 km produce 0,0993 ps/√km. Se trata de cálculos sobre el parámetro informado por el método, no de la suma de DGD instantáneas.

En el ejemplo se adopta un método de analizador fijo y U = 0,06 ps como dato del conjunto de medida. El manual de la familia VIAVI 8100 describe su resultado de PMD en términos de media de DGD; este significado depende de la implementación y debe comprobarse en el equipo utilizado. No debe atribuirse esa definición sin revisión a todas las técnicas de caracterización. [218]

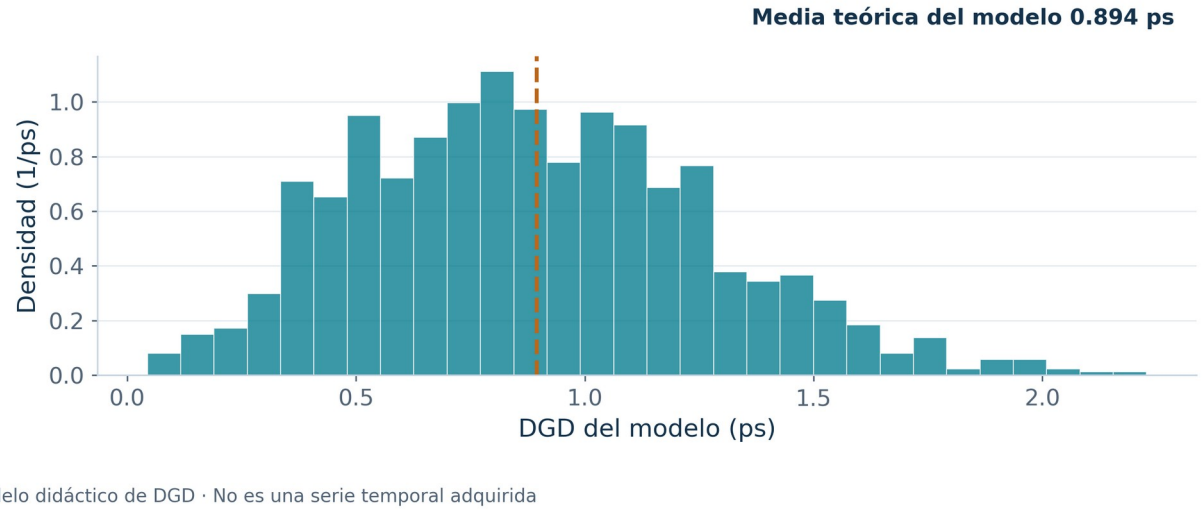


Figura 45.2. Distribución de DGD generada por un modelo estadístico explícito. La figura no es una serie temporal adquirida en una fibra. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

45.10 Distinguir repetibilidad y comportamiento del enlace

La desviación entre cinco resultados evalúa una parte de la repetibilidad de la ejecución. No mide toda la variación del enlace con temperatura, esfuerzos o longitud de onda. Tampoco reemplaza la incertidumbre expandida. La figura utiliza una distribución de Maxwell del módulo de tres componentes gaussianas independientes, bajo un modelo de acoplamiento aleatorio. Su media teórica es 0,894 ps para el coeficiente y longitud adoptados. El modelo sirve para estudiar conceptos; no permite pronosticar interrupciones de este sistema ficticio sin datos adicionales.

1. Definir qué parámetro devuelve la técnica, su unidad y su modelo de interpretación.
2. Comprobar capacidad de medida, banda, pérdidas admisibles y componentes atravesables antes de conectar.

3. Registrar fuente, receptor, instrumentos, estado de la ruta y condiciones de adquisición. Aplicar el método sin reemplazar puntos faltantes por valores de catálogo.
4. Revisar la calidad de cada adquisición y conservar repeticiones justificadas. Separar la estadística de repetibilidad de la caracterización de variabilidad del enlace.
5. Comparar con la tolerancia y el seguimiento del modo real. Validar transmisión, FEC y estabilidad en las condiciones del plan, incluyendo alternativa cuando corresponda.

45.11 Ejercicio de ampliación con respuesta

Un tramo uniforme de 80 km se amplía a 125 km conservando, como hipótesis del ejercicio, un coeficiente de 0,10 ps/√km. La estimación del parámetro pasa de 0,894 a 1,118 ps. El aumento es de aproximadamente 25 %, aunque la longitud crece 56,25 %. La relación presupone el modelo apropiado y no garantiza el comportamiento de una concatenación real. Para una fibra añadida de características distintas debe revisarse la composición y realizar la caracterización exigida por el sistema.

45.12 Leer resultados de PMD de campo publicados

La nota de aplicación 087 de EXFO describe fibras instaladas y usa P-OTDR para localizar contribuciones potenciales a PMD. En el sitio B informa 23,5 km y PMD total de 8,82 ps; abrió temporalmente el enlace para validar segmentos con un método interferométrico. En el sitio C informa 38,4 km y 3,42 ps; no pudo abrir el enlace para validar las indicaciones locales. Son casos históricos, no tolerancias de diseño actuales. [220]

Tabla 45.2. Leer resultados de PMD de campo publicados

Caso publicado	Medida total	Validación local descrita
Sitio B	23,5 km; 8,82 ps	Segmentos aislados y contraste interferométrico
Sitio C	38,4 km; 3,42 ps	No se pudo abrir el enlace para confirmar segmentos

El contraste enseña a separar una indicación de localización de una medida total y de una causa confirmada. La decisión debe indicar qué validación se realizó realmente. Los dos enlaces no forman una serie de repetibilidad y sus valores no se utilizan para ajustar el modelo de Faro.

45.13 Laboratorio 45 separar PMD informada y distribución de dgd

Objetivo y entrega. Recalcular la repetibilidad del método y explicar qué representa el parámetro PMD frente a una muestra de DGD. El producto es una ficha con método y unidades.

Montaje y condiciones. Analizador PMD, fuente y accesorios del método seleccionado. En modo analítico se usan cinco repeticiones del mismo montaje de 80 km y una distribución de DGD generada como modelo. Se mantienen como conjuntos diferentes; las 1200 muestras del modelo no tienen orden temporal de campo.

Material de análisis. pmd_repeticiones.csv, pmd_modelo_dgd.csv El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 45.

1. Calcular media y desviación estándar muestral de 0,86, 0,90, 0,87, 0,92 y 0,89 ps.

2. Comparar la media con 0,10√80 ps como predicción didáctica del modelo. Explicar supuestos y diferencia entre repetibilidad e incertidumbre total.
3. Examinar la distribución de DGD y declarar que procede de una simulación. No convertir sus proporciones en horas de indisponibilidad.
4. Relacionar la medida y su incertidumbre con el modo y el requisito aplicable. Registrar si la evidencia permite decidir o debe ampliarse.

Resultado y criterio de cierre. Media 0,888 ps y desviación muestral aproximadamente 0,02387 ps; el modelo de coeficiente produce 0,89443 ps. U = 0,06 ps es un dato del ejercicio. La desviación de las repeticiones no sustituye las contribuciones del método ni define por sí sola U.

Desafío de nivel avanzado. Un técnico predice fallas anuales contando las muestras simuladas que superan un umbral. ¿Es válido?

Orientación de respuesta. No existe aquí un modelo temporal ni un vínculo validado con errores del sistema. La población simulada permite estudiar una distribución, no pronosticar disponibilidad anual.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

Entrega del capítulo. Ficha de método repetibilidad incertidumbre y compatibilidad.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Se distingue DGD observada del parámetro estadístico?
2. ¿La unidad y la longitud están declaradas?
3. ¿El método tiene capacidad para el valor esperado?
4. ¿La tolerancia corresponde al modo real?
5. ¿La evidencia se actualiza cuando cambia la ruta?

Capítulo 46 Certificación de enlaces internos

Al terminar este capítulo, el lector podrá Conciliar resultados válidos con todas las fibras entregadas.

Términos esenciales. OLTS = conjunto de fuente y medidor de pérdida; clave única = identidad de un resultado requerido.

Certificar enlaces internos significa demostrar que cada alcance instalado cumple los requisitos que se le asignaron. La ruta MMR a rack puede reunir troncales, paneles, casetes y latiguillos aceptados en momentos diferentes. El expediente debe permitir reconstruir qué configuración fue medida y cuál se utiliza ahora.

Integramos inspección, identidad, polaridad, pérdida y caracterización por eventos para MMR, salas y racks. La selección de pruebas responderá a medio y aplicación. La recepción distinguirá aceptación de cableado, habilitación de equipos y desempeño del servicio.

46.1 Dividir el recorrido en alcances verificables

El plano marcará tramos entre MMR, de MMR a sala, de sala a rack y entre racks. Cada uno tendrá extremos e identificador. También se dibujará el canal de servicio completo, indicando componentes que se añaden al conectar al cliente.

Las pruebas de los tramos facilitan construir e investigar; las del canal comprueban la configuración entregada. No se sumarán informes como si probaran automáticamente las conexiones nuevas entre tramos. La recepción debe identificar cómo se evaluó cada frontera.

Las rutas A y B conservarán expedientes separados. La certificación de pérdida no acredita separación física, que requiere planos y comprobación de recorridos. La matriz de continuidad debe vincular esas dos clases de evidencia sin confundir sus conclusiones.

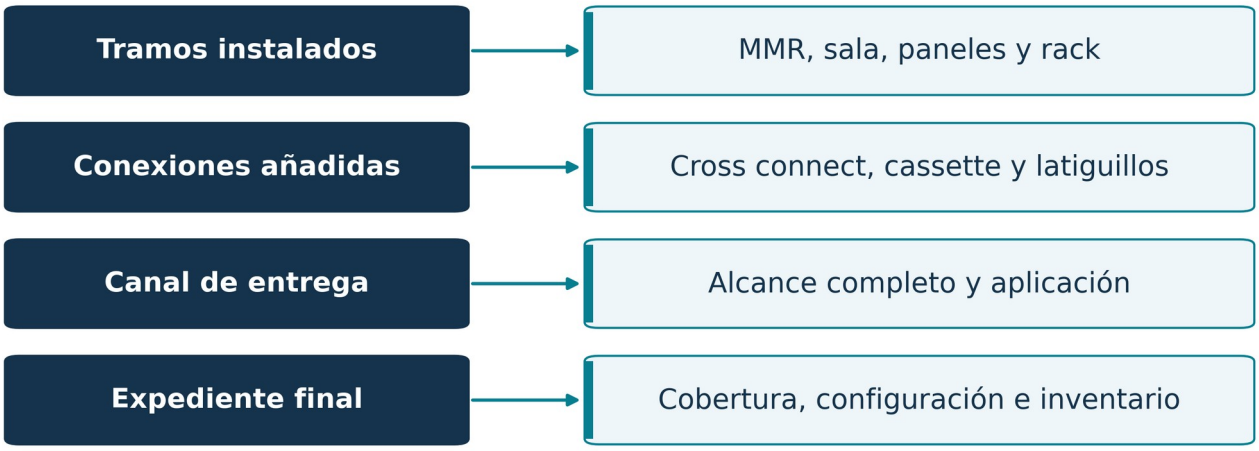


Figura 46.1. Alcances de prueba y canal entregado. Las evidencias de tramos deben relacionarse con las conexiones añadidas y con la configuración que llega al equipo. Elaboración propia.

46.2 Seleccionar normas y pruebas aplicables

ISO/IEC 14763-3:2024 especifica sistemas y métodos de inspección y ensayo de cableado óptico instalado. Su alcance público incorpora MPO, enlaces de extremo a extremo e incertidumbre. La edición y los límites se fijarán en el proyecto con acceso al texto normativo necesario. [181]

La referencia de componentes y la referencia de ensayo cumplen funciones distintas. ANSI/TIA-568.3-E, publicada en 2022, se presenta como estándar de componentes de cableado óptico. El pliego deberá relacionar diseño, componentes, método y criterios de aplicación, sin declarar que un único número cubre toda la entrega. [182]

La matriz incluirá inspección, continuidad, mapa y pérdida para el alcance definido, además de OTDR y retorno cuando correspondan al requisito. CD y PMD se solicitarán cuando las condiciones de transmisión lo justifiquen. No se impondrá la misma caracterización especializada a toda conexión corta sin un motivo técnico.

Tabla 46.1. Seleccionar normas y pruebas aplicables

Tramo	Aspecto que debe quedar resuelto	Evidencia que se relaciona
MMR a MMR	Identidad y continuidad entre dominios.	Fibra, recorrido y resultados por extremo.
MMR a sala	Troncal y fronteras de distribución.	Planos, pérdidas y eventos pertinentes.
Sala a rack	Panel, casete y terminación.	Mapa de posiciones y alcance medido.
Rack a rack	Canal y aplicación prevista.	Componentes, pérdida y compatibilidad.
Cross connect	Extremos autorizados y conexiones nuevas.	Orden, prueba y demarcación entregada.

46.3 Construir la matriz de cobertura

La lista de entrega identificará todas las fibras y posiciones comprometidas, incluidas reservas aceptadas para uso futuro. Para cada una se registrarán longitudes de onda, sentidos y ensayos. Los resultados no medidos se marcarán como pendientes o fuera de alcance según el acuerdo.

En un ejemplo ficticio, el plan exige medir 96 fibras a dos longitudes de onda y en ambos sentidos. Son $96 \times 2 \times 2 = 384$ resultados de pérdida. Ese número no equivale necesariamente a 384 archivos: el formato puede agrupar observaciones. La conciliación debe hacerse por resultado e identidad.

La matriz comparará lo previsto con lo ejecutado. Debe detectar direcciones duplicadas, posiciones omitidas y archivos sin vínculo. El control de cobertura se realiza antes de emitir la recepción, sin depender de que el software presente un total elevado de pruebas.

46.4 Preparar canales de baja pérdida y multifibra

Un canal con presupuesto reducido necesita controlar cada conexión y el método de referencia. La incertidumbre y la repetibilidad de reconexión pueden ser relevantes respecto del margen disponible. Los accesorios de ensayo deben tener calidad y compatibilidad adecuadas al objetivo.

En MPO se comprobarán todas las posiciones que forman parte de la entrega y su correspondencia. Si la aplicación usa ocho de doce fibras, la aceptación debe declarar el estado de las cuatro restantes. Su uso futuro no debe deducirse del funcionamiento de las ocho activas.

Una medida correcta de pérdida por fibra no corrige un mapa incompatible con el sistema. La prueba integrará polaridad, pines, orientación y transformaciones de casetes y latiguillos. Las conexiones de carriles múltiples se relacionarán con la interfaz exacta que las utiliza.

46.5 Ejecutar pruebas sin invalidar su alcance

Primero se preparan identidad y superficies. Después se establece referencia y se ejecuta la serie con los parámetros aprobados. Los cambios de latiguillos o de montaje deben registrarse y gestionar su efecto sobre la referencia. Los resultados discordantes se investigarán manteniendo los originales.

En OTDR se comprobará resolución para las distancias interiores. Las conexiones próximas pueden exigir configuraciones complementarias y medidas desde ambas direcciones. El informe identificará componentes que no pueden evaluarse individualmente con ese montaje.

La activación de equipos se realizará después de disponer de un medio compatible. Se registrarán modo, FEC, potencia y errores según interfaz. La certificación del cableado queda vinculada con esa activación, pero no se ampliará retrospectivamente su alcance para afirmar throughput o recuperación de aplicación.

46.6 Gestionar no conformidades y cambios

Cada incumplimiento tendrá objeto, resultado, límite y acción. Se distinguirá defecto físico, problema de medida y falta documental. La repetición posterior deberá cubrir lo afectado por la reparación, incluidas conexiones que se hayan intervenido.

La sustitución de un componente conserva historial y actualiza configuración final. No se entregará como vigente una prueba anterior al cambio sin analizar su aplicabilidad. El inventario debe permitir encontrar el último resultado válido y sus predecesores.

La aceptación con pendientes necesita alcance y restricciones claros. Un rack puede estar habilitado para una aplicación y tener reservas pendientes de ensayo. Esa condición debe aparecer en disponibilidad comercial y en operación, sin convertir todo el panel en capacidad libre certificada.

46.7 Caso de cobertura incompleta en una troncal

En un caso ficticio se reciben 384 resultados para una troncal de 96 fibras y se supone cobertura completa. La conciliación por identificador encuentra que varias fibras fueron repetidas y otras no tienen ambos sentidos. El total de archivos había ocultado la omisión.

El equipo completa la matriz, repite los montajes necesarios y verifica correspondencia con etiquetas y mapa. La recepción final incorpora cobertura efectiva y pendientes resueltos. El caso muestra por qué el conteo es un control inicial y necesita identidad para demostrar completitud.

46.8 Emitir el expediente de enlaces internos

1. Planos y alcances por tramo y canal.
2. Lista de fibras y posiciones entregadas.

3. Normas, métodos, límites y aplicaciones.
4. Resultados con referencia y cobertura conciliadas.
5. No conformidades, reparaciones y repetición.
6. Configuración final, inventario y restricciones de uso.

El capítulo 47, Caracterización de fibra exterior, extenderá esta disciplina al proceso de construcción, rutas y reparaciones fuera del edificio.

46.9 Conciliar cobertura hasta la fibra y el plano de entrega

El Campus Faro tiene seis troncales: dos dominios para cada uno de tres edificios. Cada troncal entrega 144 fibras. Se ensayan dos longitudes de onda y ambos sentidos, por lo que la matriz contiene 6 × 144 × 2 × 2 = 3456 resultados de pérdida. El número de ficheros puede ser distinto, porque un fichero puede contener varias observaciones. La clave de conciliación es troncal, fibra, longitud de onda y sentido.

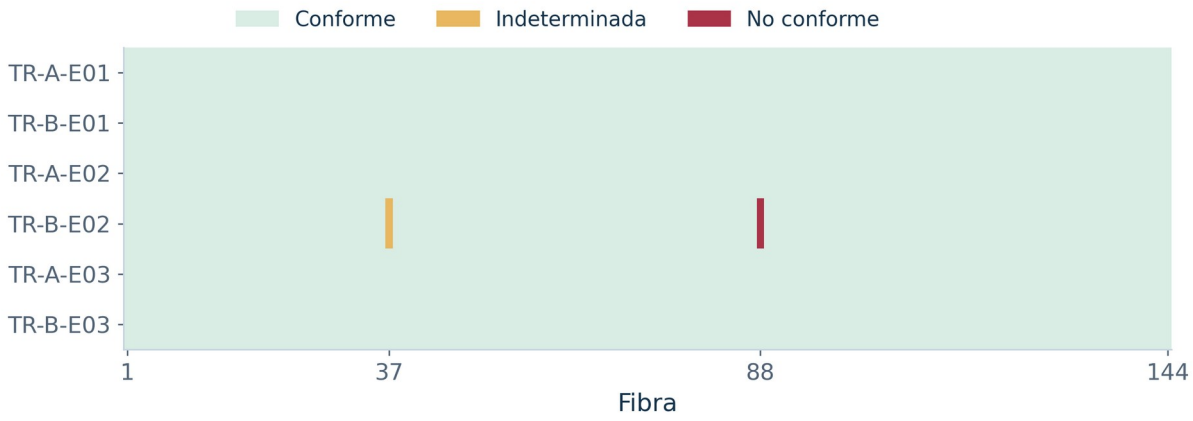


Figura 46.2. Matriz inicial simulada. En TR-B-E02, la fibra 37 tiene resultados indeterminados y la fibra 88 presenta no conformidad. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

La demanda inicial ocupa 96 fibras por troncal. Las 48 restantes también pertenecen a la entrega física del caso y se incluyen en el plan de aceptación; no se confunde reserva comercial con exclusión del ensayo. En olts_inicial.csv aparecen 3448 resultados conformes, cuatro indeterminados y cuatro no conformes. Las ocho observaciones pendientes corresponden a dos fibras, no a ocho fibras distintas.

1. Generar la lista esperada desde el inventario de entrega, incluyendo reservas y canales finales.
2. Comparar claves esperadas y recibidas; localizar ausencias, duplicados y resultados de otra configuración.
3. Aplicar el criterio de cada observación sin convertir un promedio favorable en aceptación de todas las posiciones.
4. Vincular las intervenciones sobre las fibras 37 y 88 con los resultados previos y posteriores. Repetir el alcance afectado y comprobar los controles del conjunto.
5. Cerrar la conciliación con 3456 claves únicas y 3456 resultados conformes en olts_final.csv. Conservar el estado inicial para reconstruir la decisión.

46.10 Aceptar la aplicación sobre el canal construido

El presupuesto de 2,20 dB corresponde al caso de fibra. Una aplicación multifibra requiere, además, el mapa de carriles, la polaridad y la compatibilidad de transceptores y host. La pérdida de una fibra no demuestra que su posición sea la que el transmisor o receptor necesita. El canal aceptado debe representar los casetes y latiguillos que se utilizan en la entrega, con sus transformaciones documentadas.

Tabla 46.2. Aceptar la aplicación sobre el canal construido

Control	Resultado esperado del caso
Cobertura	3456 claves únicas y sin ausencias
Decisión por observación	Conforme según límite y regla adoptados
Configuración	Planos y componentes de la entrega final
Reservas	Fibras probadas y estado de asignación explícito
Servicio	Activación y desempeño evaluados en su propio protocolo

46.11 Ejercicio de archivo con respuesta

Se reciben 3456 registros, pero cuatro claves están duplicadas y otras cuatro faltan. La cobertura efectiva es de 3452 observaciones distintas. El total de filas no permite firmar cobertura completa. Se solicitan las cuatro observaciones ausentes, se resuelven los duplicados y se conserva la correspondencia con los originales.

46.12 Laboratorio 46 conciliar todas las fibras entregadas

Objetivo y entrega. Demostrar cobertura por clave única y por resultado válido, incluidas las reservas. El entregable conserva lista de faltantes, duplicados, indeterminados y no conformes.

Montaje y condiciones. Inventario de seis troncales de 144 fibras, 1310 y 1550 nm, sentidos A–Z y Z–A. Fuente y medidor, referencias y planos adecuados para una ejecución física. El modo analítico utiliza los estados inicial y final sin sobreescribir ninguno.

Material de análisis. olts_inicial.csv, olts_final.csv El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 46.

1. Generar las claves esperadas troncal–fibra–banda–sentido: 6 × 144 × 2 × 2.
2. Revisar rangos, datos inválidos y duplicados. Una fila duplicada no cubre una clave ausente.
3. Aplicar la misma regla de incertidumbre a todas las lecturas. Agrupar estados y localizar las fibras que requieren intervención.
4. Comparar la repetición final contra el inventario esperado y el registro de acciones. Emitir el cierre óptico sin cerrar requisitos IP o de diversidad ajenos al ensayo.

Resultado y criterio de cierre. Se esperan 3456 claves. El primer estado tiene 3448 conformes, cuatro indeterminadas y cuatro no conformes, correspondientes a dos fibras. El estado final conserva 3456 conformes. La reserva es parte de la instalación entregada y de la cobertura acordada.

Desafío de nivel avanzado. Se reciben 3456 archivos, pero cuatro repiten una clave ya presente. ¿Se declara cobertura completa?

Orientación de respuesta. Se concilia el conjunto de claves. El total de archivos no garantiza el número de resultados únicos válidos ni identifica qué claves faltan.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

Entrega del capítulo. Matriz de cobertura con faltantes duplicados y decisiones.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Las pruebas llegan hasta los planos de entrega?
2. ¿Las conexiones añadidas tienen evidencia?
3. ¿Cada posición tiene cobertura conciliada?
4. ¿El presupuesto reducido admite el método e incertidumbre?
5. ¿El inventario representa la configuración final probada?

Capítulo 47 Caracterización de fibra exterior

Al terminar este capítulo, el lector podrá Caracterizar el tramo exterior antes y después de una intervención.

Términos esenciales. Referencia temporal = estado contra el que se compara; empalme = unión entre fibras.

La caracterización de fibra exterior debe acompañar al cable desde su recepción hasta la ruta operativa. Las pruebas en distintos hitos permiten reconocer cuándo apareció un daño y conservar una línea base para reparación. El resultado debe relacionar fibras, empalmes, reservas y geografía comprobada.

Organizamos recepción de bobinas, controles de tendido, empalmes, pérdida, OTDR y dispersión según el diseño. El objetivo será recibir una ruta utilizable y documentada, con límites y evidencias suficientes para la transmisión prevista y para sus cambios durante la vida del servicio.

47.1 Preparar una secuencia por hitos

El plan identificará controles de fábrica, recepción, instalación, empalmes y aceptación final. Cada hito tendrá objetos y criterios. La evidencia de fábrica describe el producto ensayado; la de campo comprueba la configuración que quedó instalada y sus intervenciones.

Al recibir una bobina se comprobarán identidad, documentación y condición de transporte. Las pruebas acordadas deben realizarse antes de que el tendido impida distinguir una condición previa. Se conservarán sellos, longitudes y resultados relacionados con el cable que efectivamente se instala.

Durante el tendido se registrarán tramos, esfuerzos y condiciones exigidas por el fabricante. Las pruebas no sustituyen el cumplimiento mecánico de radios, tensiones y métodos de instalación. Un resultado óptico favorable en ese momento no acredita todos los efectos de una manipulación fuera de especificación.

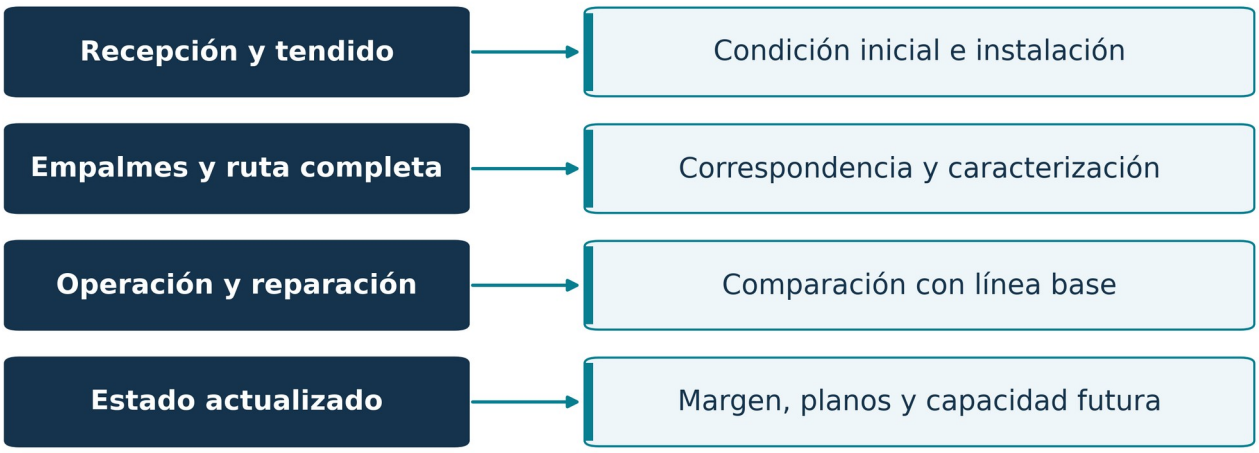


Figura 47.1. Evidencia de fibra exterior durante su vida. Cada hito conserva el estado y permite comparar la ruta después de instalación, empalmes e intervenciones. Elaboración propia.

47.2 Relacionar fibra cable y recorrido

La documentación identificará bobina, cable, tubo o cinta, color y posición de fibra según el sistema utilizado. Los empalmes conservarán las correspondencias entre cables. Un cambio de color en una transición no debe perder la continuidad del identificador del circuito.

El plano conforme a obra registrará trazado, cámaras, cierres y reservas con el detalle autorizado para operación. Se distinguirán datos observados y declarados. La longitud OTDR debe relacionarse con reservas y construcción antes de asociar un evento con una posición geográfica.

Las rutas diversas necesitan evidencias de ductos, cruces y otros recursos compartidos. Medir longitudes diferentes no demuestra separación. El expediente debe representar los tramos comunes y su efecto sobre el servicio que se ofrece como protegido.

Tabla 47.1. Relacionar fibra cable y recorrido

Hito	Objetivo del control	Registro asociado
Recepción	Identificar condición previa al tendido.	Bobina, longitud y ensayos acordados.
Tendido	Conservar condición de instalación.	Tramo, método e incidencias.
Empalmes	Comprobar correspondencia y eventos.	Cierre, bandeja y mapa de fibras.
Ruta completa	Aceptar el alcance utilizable.	Pérdida, trazas y caracterización requerida.
Reparación	Comparar y actualizar la línea base.	Cambio físico, ensayos e impacto en margen.

47.3 Medir pérdida y eventos en las longitudes de onda previstas

El plan de pérdida y OTDR se definirá por tipo de fibra, banda de transmisión y requisitos. En un ejemplo de monomodo pueden incluirse 1310 y 1550 nm; otras longitudes de onda se añadirán si tienen un objetivo y un método compatible. No se introducirán señales en un sistema activo sin el procedimiento previsto.

Las adquisiciones OTDR incluirán bobinas y configuraciones que permitan evaluar conexiones y empalmes. Se medirá desde ambos extremos cuando lo requiera el plan y se asociarán eventos correspondientes. El alcance largo puede necesitar pulsos diferentes para detalle y final de ruta.

ITU-T G.650.3 de agosto de 2017 organiza pruebas de enlaces monomodo instalados y niveles de caracterización según necesidad. Es una referencia para relacionar pruebas iniciales y características adicionales de acuerdos o reutilización. El contrato debe concretar cobertura y límites del recorrido entregado. [173]

47.4 Evaluar empalmes y anomalías

El mapa de empalmes identificará cable y fibra a ambos lados, cierre y ubicación. La estimación de la fusionadora sirve al proceso de ejecución, pero no sustituye por sí sola la evidencia acordada de campo. Debe vincularse el empalme con las mediciones que lo evalúan.

Se investigarán pérdidas inesperadas, reflexiones y diferencias dependientes de longitud de onda. Una curvatura, un empalme o una transición de fibra pueden necesitar análisis diferente. La interpretación combinará traza, dirección contraria y observación física autorizada.

Las reparaciones durante construcción deben registrarse antes de generar el estado final. Si añaden cierres, empalmes o longitud, se actualizará el presupuesto. El plano de diseño original no debe presentarse como conforme a obra después de esas modificaciones.

47.5 Añadir CD PMD y límites de transmisión

La caracterización especializada se decidirá por modo de transmisión, longitud, composición y conocimiento de la planta. Una ruta existente puede necesitar datos adicionales para una ampliación. La pérdida favorable no permite deducir CD ni PMD.

Los resultados por segmento pueden apoyar el diseño si existen modelos y datos compatibles para combinarlos. Debe distinguirse una estimación de una medida del alcance completo. Los componentes de línea y las restricciones de acceso pueden obligar a una aceptación conjunta con el operador.

La solución de transmisión debe revisar ruido, filtrado, potencia y otros deterioros además de dispersión. Los márgenes de envejecimiento, reparación y crecimiento se asignarán expresamente. Una ruta alternativa requiere su propio análisis para el modo que transportará durante contingencia.

47.6 Aceptar y preparar el mantenimiento

La entrega incluirá fibras aceptadas, pendientes y restricciones. Las reservas se identificarán y ensayarán conforme al compromiso, sin confundir capacidad instalada con capacidad utilizable. Se conservarán archivos nativos, configuración e instrumentos para reconstruir el resultado.

La línea base facilitará comparar una falla o una reparación. El procedimiento debe establecer qué pruebas se repiten después de intervenir y quién revisa el margen restante. Una reparación que recupera continuidad puede añadir pérdidas o modificar el recorrido y necesita evaluación.

El mantenimiento también requiere acceso, contactos y capacidad de intervención. El expediente deberá relacionar operadores de planta, propietarios y proveedores del servicio. La falta de documentación de una cámara puede retrasar recuperación aunque el evento óptico esté bien localizado en distancia.

47.7 Caso de reparación que consume reserva

En un caso ficticio, una reparación añade dos empalmes y una reserva de cable para restituir una ruta. El servicio vuelve a operar, pero no se actualizan plano ni presupuesto. Meses después se promete una ampliación utilizando los márgenes del diseño anterior.

La revisión recupera la evidencia de reparación, mide el alcance pertinente y recalcula compatibilidad del modo nuevo. Actualiza inventario, longitud y línea base. La lección es conservar las consecuencias de cada intervención para que continuidad actual y capacidad futura se decidan con la misma realidad física.

47.8 Cerrar la caracterización exterior

1. Hitos, bobinas y trazabilidad de cable.
2. Mapas de fibra, empalmes y reservas.
3. Ruta conforme a obra y dependencias comunes.
4. Pérdidas, eventos y dispersión aplicables.

5. Presupuesto, márgenes y transmisión prevista.
6. Línea base, acceso y pruebas posteriores a reparación.

El capítulo 48, Certificación del cableado de cobre, desarrollará la aceptación de los enlaces eléctricos que completan la conectividad del edificio y de los equipos.

47.9 Plan por hitos para el tramo terrestre BT-A01

El tramo de 80 km se recibe mediante hitos que permiten separar condición del producto, efecto de instalación y configuración final. Una traza de fábrica no acredita el recorrido construido. Cada hito conserva el objeto ensayado, el estado previo y el cambio introducido. Los ensayos especializados se seleccionan para la transmisión prevista, con el acceso y método que la infraestructura permite.



Figura 47.2. Secuencia de hitos del tramo ficticio BT-A01. La relación es documental y funcional, no un plano geográfico. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

Tabla 47.2. Plan por hitos para el tramo terrestre BT-A01

Hito	Objeto y control	Registro útil para comparar
Recepción	Bobina, identidad y condición inicial	Número de fabricación, longitud y prueba recibida
Tendido	Tramos y esfuerzos permitidos	Frentes, cable instalado y desviaciones
Empalmes	Correspondencia y calidad de uniones	Caja, bandeja, fibras y adquisiciones
Ruta completa	Pérdida y comportamiento por eventos	Planos, reservas y archivos desde los extremos
Transmisión	Compatibilidad del sistema previsto	Modo, banda, CD y PMD cuando aplican
Reparación	Estado que sustituye al aceptado	Cambios, nuevas pruebas y margen actualizado

47.10 Procedimiento de comparación después de intervenir

1. Seleccionar la referencia anterior que corresponda a la misma fibra y banda. Verificar si la longitud o las bobinas cambiaron.

2. Ubicar el tramo intervenido mediante plano ejecutado y registro de reservas. Comparar eventos por identidad, evitando alinearlos solo por distancia absoluta.
3. Medir la pérdida del alcance final y evaluar eventos desde ambos extremos cuando lo requiere el plan.
4. Actualizar la composición óptica y repetir las caracterizaciones afectadas por el cambio. Un empalme añadido consume margen y puede modificar longitud y documentación.
5. Comprobar la transmisión y el servicio que utiliza la ruta; conservar la aceptación del estado reparado junto a su predecesor.

La diversidad se verifica en paralelo con la caracterización. Dos rutas con longitudes ópticas diferentes pueden compartir ducto, cámara o puente. El informe físico relaciona la ruta con esos activos y con los servicios afectados. Cuando el carrier no permite difundir detalles, la limitación de acceso se acompaña de un mecanismo verificable de revisión y de las excepciones conocidas.

47.11 Ejercicio de reparación con respuesta

Una reparación añade 0,18 dB al alcance y 0,2 km a una ruta cuya reserva de reparación era 0,30 dB. El consumo de reserva debe evaluarse con el presupuesto completo y las condiciones de la interfaz; no basta declarar que el empalme nuevo cumple. Si la reserva se expresa en pérdida y los demás términos no cambian, quedan nominalmente 0,12 dB de aquella provisión antes de considerar el efecto de la fibra añadida y la incertidumbre pertinente. El expediente recalcula ese saldo y revisa la capacidad futura.

47.12 Laboratorio 47 cerrar una reparación de fibra exterior

Objetivo y entrega. Relacionar el estado anterior, el punto intervenido y las pruebas posteriores con el mismo inventario. El expediente debe permitir reconstruir qué cambió.

Montaje y condiciones. Tramo exterior identificado y acceso de campo autorizado, plano ejecutado, registro de empalmes y mediciones anteriores. Se seleccionan bandas y métodos por la aplicación del tramo. La práctica documental utiliza BT-A01 de Faro y el formulario MOP; no implica intervenir una red existente.

Material de análisis. Formulario del kit y documentación del montaje. El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 47.

1. Preparar identidad de cable y fibras, alcance de la reparación y estado del servicio alternativo.
2. Registrar coordenada óptica y ubicación de obra con su incertidumbre o referencia. Evitar tratar distancia óptica como coordenada geográfica exacta.
3. Documentar fibra añadida, empalmes y componentes sustituidos. Actualizar el presupuesto de pérdida y las condiciones de transmisión afectadas.
4. Repetir las pruebas necesarias desde medio hasta servicio, conservar antes y después y validar el retorno a una configuración estable.

Resultado y criterio de cierre. La reparación física se cierra con identidad, planos y pruebas del tramo modificado. El servicio necesita su propia validación de capacidad, calidad y función. Si la alternativa temporal conserva un riesgo común, se mantiene ese pendiente aunque el tráfico haya vuelto.

Desafío de nivel avanzado. El tráfico vuelve, pero el plano sigue mostrando la caja retirada. ¿Está completo el cierre?

Orientación de respuesta. Falta la actualización del estado ejecutado y sus relaciones con fibras y servicios. La recuperación de tráfico no completa la entrega documental ni la preparación para la próxima intervención.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

Entrega del capítulo. Expediente de reparación con plano y pruebas afectadas.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La recepción permite distinguir daños previos al tendido?
2. ¿Cada empalme conserva correspondencia y ubicación?
3. ¿Las pruebas cubren la banda y el alcance entregados?
4. ¿La caracterización admite la transmisión y la alternativa?
5. ¿Las reparaciones actualizan margen y documentación?

Capítulo 48 Certificación del cableado de cobre

Al terminar este capítulo, el lector podrá Aplicar el perfil de certificación al objeto de cobre correcto.

Términos esenciales. NEXT = diafonía de extremo cercano; NVP = velocidad nominal de propagación relativa.

La certificación de cobre debe evaluar el alcance y la categoría o clase que se entregan. Un comprobador de continuidad puede encontrar errores de hilos y seguir sin medir las prestaciones de transmisión. La aceptación necesita instrumentación, adaptadores, límites y archivos adecuados al enlace instalado.

Revisamos enlace permanente, canal y MPTL, junto con pérdidas, diafonía, retorno, tiempos y resistencia. El objetivo será interpretar márgenes y reparar causas concretas, conservando las condiciones relevantes para datos y alimentación remota cuando corresponda.

48.1 Elegir el alcance y límite correctos

El enlace permanente representa el cableado fijo bajo su definición de ensayo; el canal incorpora los elementos de conexión que correspondan al recorrido completo. Deben dibujarse conexiones y adaptadores antes de medir. Sus límites y montajes no deben intercambiarse por comodidad.

ANSI/TIA-568.2-E fue publicada en 2024 como revisión del estándar de cableado y componentes de pares balanceados. El pliego seleccionará edición, categoría o clase y alcance. La lista efectiva de parámetros y rango de frecuencias debe corresponder a esa selección y al instrumento. [183]

Un MPTL termina en una clavija modular para conexión directa al equipo según el diseño. Fluke explica un montaje con adaptador de enlace permanente en un extremo y adaptador de latiguillos en el otro para su plataforma DSX. Utilizar un adaptador de canal puede excluir la conexión que interesa evaluar. [184]

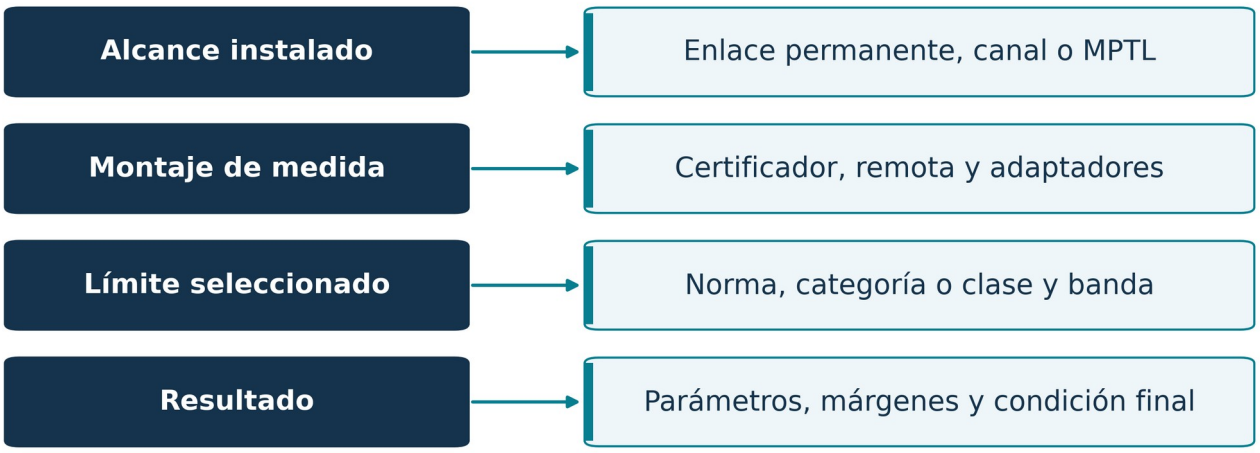


Figura 48.1. Selección del ensayo de cobre. El alcance físico determina adaptadores y límites; el resultado debe quedar asociado con la configuración entregada. Elaboración propia.

48.2 Preparar equipo cable y adaptadores

El certificador debe tener capacidad y precisión adecuadas a la categoría y frecuencia. Se conservarán unidad principal, remota, series, firmware y estado metrológico. Los adaptadores deben ser compatibles y encontrarse en condiciones adecuadas; también son parte del sistema de medida.

Se seleccionará el tipo de cable y su NVP conforme a información pertinente. La longitud calculada a partir del tiempo de propagación depende de ese valor. No se modificará NVP para hacer que un enlace demasiado largo parezca cumplir. El ajuste deberá tener justificación y trazabilidad.

La inspección física comprobará identidad, terminaciones, radios, organización y condiciones de instalación. En cable apantallado se revisará el tratamiento de pantalla según el diseño. Una lectura de continuidad de pantalla no certifica por sí sola todo el sistema de equipotencialidad del edificio.

48.3 Interpretar mapa longitud y tiempos

El mapa de hilos debe detectar abiertos, cortocircuitos, inversiones y otras correspondencias incorrectas. Un par dividido puede conservar continuidad eléctrica y degradar las prestaciones. El instrumento y el método deben poder identificar los defectos relevantes al alcance.

La longitud se evaluará con la norma y la aplicación seleccionadas. No se aplicará 100 m como límite universal de cualquier categoría, interfaz y montaje. También se comprobarán condiciones de latiguillos y componentes que forman el canal real.

El retardo de propagación y el delay skew describen tiempo y diferencia entre pares. Deben interpretarse con su límite y unidad. Un promedio entre pares no sustituye el cumplimiento del par o combinación que determina el peor margen.

Tabla 48.1. Interpretar mapa longitud y tiempos

Familia de prueba	Qué evalúa	Revisión de campo que puede orientar
Mapa y longitud	Correspondencia y extensión del alcance.	Terminaciones, pares divididos y NVP.
Pérdida de inserción	Atenuación a lo largo de la banda.	Longitud, cable, temperatura y conexiones.
NEXT y PS NEXT	Acoplamiento próximo entre pares.	Geometría y terminación de pares.
ACR N y ACR F	Relación de señal y diafonía según definición.	Pérdida, acoplamiento y margen por frecuencia.
Pérdida de retorno	Reflexiones por discontinuidades de impedancia.	Conectores, uniones y deformaciones.
Resistencia y desequilibrio	Comportamiento de conductores y contactos.	Sección, continuidad y calidad de terminación.

48.4 Evaluar pérdida diafonía y retorno

La pérdida de inserción debe compararse en la banda requerida. El NEXT cuantifica acoplamiento en el extremo próximo; las métricas de suma de potencia consideran contribuciones de varios pares según su definición. El resultado debe conservar pares, sentido y frecuencia del peor margen.

ACR N relaciona pérdida y diafonía próxima, y ACR F corresponde al tratamiento normalizado de la diafonía lejana. Se interpretarán nombres y límites del perfil elegido. Un valor global de aprobación no explica qué combinación queda más próxima al límite. [185]

La pérdida de retorno permite investigar discontinuidades de impedancia y exige un montaje adecuado. La diafonía entre cables, o alien crosstalk, necesita un plan específico cuando sea aplicable. Su cobertura y posible muestreo se definirán conforme al requisito, sin atribuir a la prueba de un cable todas las interacciones del haz.

48.5 Incorporar resistencia y alimentación remota

La resistencia de lazo y su desequilibrio deben evaluarse según las necesidades de datos y alimentación. En PoE importan diferencias dentro de un par y, para las condiciones pertinentes, entre pares. El plan debe incluir las medidas necesarias en vez de suponer que todo perfil automático las ejecuta. [186]

La capacidad de alimentación también depende de fuente, dispositivo, potencia requerida, longitud, agrupamiento y temperatura. La certificación del cableado y la comprobación de entrega de energía al equipo son evidencias complementarias. Debe conservarse la condición de carga representativa.

Las cámaras, sensores y puntos de acceso del edificio merecen la misma trazabilidad que un servidor. Una conexión de gestión puede ser crítica para recuperación. Su aceptación debe quedar vinculada con el dispositivo y con el camino que necesita durante una falla de producción.

48.6 Reparar interpretar márgenes y repetir

Un margen es la separación entre resultado y límite con la convención de la magnitud. Se revisarán peor par y frecuencia y la indicación de incertidumbre del instrumento. Los resultados señalados como próximos al límite se gestionarán con el criterio acordado y la documentación del equipo.

El diagnóstico puede orientar hacia una terminación o una distancia, pero debe contrastarse con el cable real. La corrección respetará componentes y método de instalación. Después se repetirá la certificación del alcance afectado; reparar un parámetro puede modificar otros.

No se cambiará el perfil a una categoría inferior para declarar entregado lo solicitado inicialmente. Si se acepta otro alcance o prestación, debe existir una modificación explícita con sus consecuencias. El informe conservará resultados iniciales, intervención y estado final.

48.7 Caso de MPTL con una conexión sin evaluar

En un caso ficticio, un equipo alimentado por la red presenta interrupciones y el cable aparece aprobado como canal. La revisión encuentra un montaje de prueba que excluía la clavija instalada en campo. La continuidad era correcta, pero la conexión no había recibido el ensayo previsto.

El equipo selecciona adaptadores y límite MPTL compatibles, investiga la terminación y repite transmisión y resistencia aplicables. Después comprueba el dispositivo bajo carga. La aceptación conserva el montaje correcto y la evidencia del servicio del edificio.

48.8 Emitir el expediente de cobre

1. Identidad, categoría o clase y alcance.
2. Norma, edición y límite de ensayo.

3. Certificador, remota, adaptadores y versiones.
4. Tipo de cable, NVP y condiciones pertinentes.
5. Resultados completos, márgenes y cobertura PoE.
6. Reparaciones, repetición e inventario final.

El capítulo 49, Plan de aceptación por servicio, organizará qué pide cada entrega al carrier y cómo relacionar estas pruebas del medio con los compromisos de transporte y aplicación.

48.9 Ensayo resuelto de un enlace de cobre

El ejercicio utiliza un enlace permanente de categoría 6A seleccionado en el perfil del certificador, con 86,2 m de longitud informada. El montaje emplea adaptadores de enlace permanente y no incluye latiguillos de usuario. La categoría, el tipo de enlace y la edición del límite son entradas del ensayo. El nombre comercial del cable no determina por sí solo el resultado.

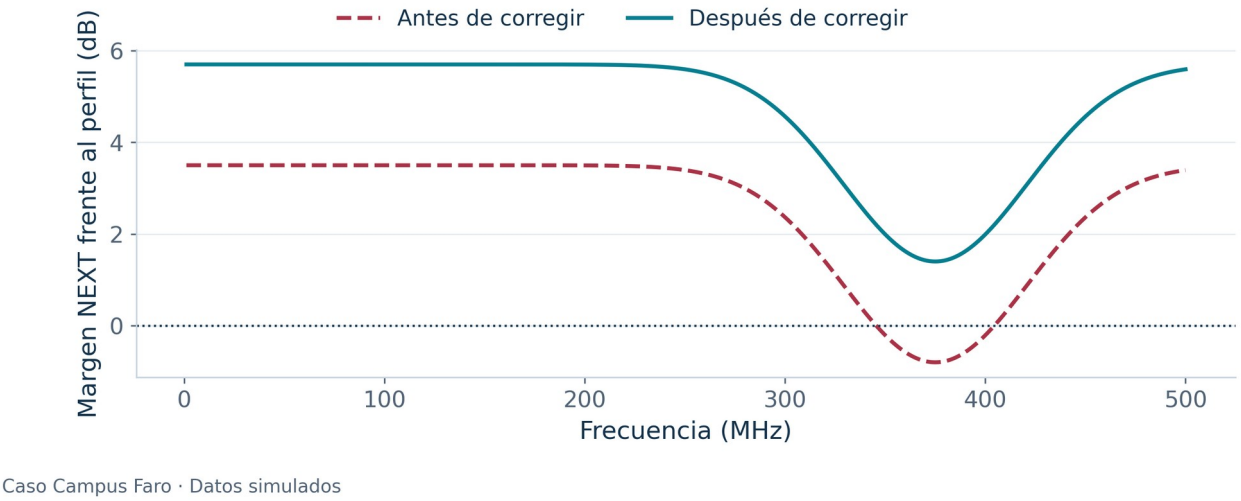


Figura 48.2. Margen NEXT simulado frente al perfil del ejercicio. La curva conserva el peor par y la región próxima a 375 MHz. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

1. Confirmar identidad y configuración física. Seleccionar el tipo de enlace y los adaptadores que incluyen la conexión realmente entregada.
2. Verificar estado del certificador y de sus accesorios. Configurar el perfil y la velocidad nominal de propagación con la información pertinente del cable.
3. Ejecutar el conjunto de parámetros del perfil, guardando los resultados completos de todos los pares y frecuencias.
4. Revisar el peor margen y su localización en frecuencia, además del resumen global. Contrastar un fallo con terminaciones, geometría y condiciones del recorrido.
5. Corregir la causa identificada y repetir el alcance afectado con el mismo criterio. No mejorar el resumen cambiando la categoría o el modelo de enlace.

La curva inicial tiene un peor margen NEXT de −0,80 dB a 375 MHz para la combinación de pares indicada. Después de corregir la terminación, el margen mínimo pasa a +1,40 dB. Este resultado ilustra lectura y repetición; una aceptación completa exige los demás parámetros del perfil y el tratamiento de resultados marginales conforme al instrumento y al acuerdo.

Tabla 48.2. Ensayo resuelto de un enlace de cobre

Parámetro	Qué debe conservarse
Mapa de hilos	Correspondencia completa y defectos detectados
Longitud y retardo	Valor por par, NVP y modelo de enlace
NEXT y PS NEXT	Peor par o combinación, frecuencia y margen
Pérdida de retorno	Peor resultado y ubicación diagnóstica disponible
Alimentación remota	Resistencia, desequilibrio y condiciones requeridas por la aplicación

48.10 Ejercicio de alcance con respuesta

Una conexión directa a un dispositivo termina con una clavija de campo. Probarla con un adaptador que excluye esa clavija deja parte de la entrega sin evaluar. Se selecciona el montaje MPTL u otro método aplicable a la conexión concreta y se repite con los accesorios que incluyen el extremo. Cambiar solo el nombre del fichero no modifica la cobertura real.

48.11 Laboratorio 48 interpretar el peor margen de cobre

Objetivo y entrega. Relacionar un margen por frecuencia con el modelo de enlace seleccionado. El resultado conserva par o combinación, frecuencia, unidad y revisión de la instalación.

Montaje y condiciones. Certificador con adaptadores del modelo elegido, cableado y extremos identificados. El perfil debe corresponder a enlace permanente, canal o MPTL según el objeto. El CSV solo modela un parámetro NEXT de una combinación; no constituye un autotest completo.

Material de análisis. cobre_margen_next.csv El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 48.

1. Revisar perfil, categoría o clase, adaptadores, NVP y accesorios incluidos. Registrar versión y estado de calibración según el instrumento.
2. Buscar el mínimo margen NEXT y su frecuencia en el estado inicial y en el final.
3. Identificar el alcance que cambió entre ambos y solicitar los demás parámetros exigidos por el perfil.
4. Archivar el autotest nativo completo en una ejecución física; conservar la curva del ejercicio como análisis de un parámetro.

Resultado y criterio de cierre. El mínimo inicial del modelo es −0,80 dB y el final 1,40 dB, en 375 MHz. El segundo mejora ese parámetro. La aceptación de cableado exige todos los parámetros del modelo y, cuando corresponda, requisitos adicionales de alimentación, balance y temperatura.

Desafío de nivel avanzado. NEXT cumple después de rehacer una terminación. ¿Puede declararse conforme todo el enlace con esa sola curva?

Orientación de respuesta. Hay que repetir y revisar el conjunto de pruebas afectado. La conformidad de un parámetro no reemplaza mapa, longitud, pérdidas, retorno y los demás requisitos del perfil.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

Entrega del capítulo. Autotest y explicación del peor margen.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿El montaje prueba la conexión realmente entregada?
2. ¿NVP y perfil tienen una fuente válida?
3. ¿Se conserva el peor par y frecuencia?
4. ¿La alimentación requiere parámetros adicionales?
5. ¿Se repitió el alcance afectado después de reparar?

Parte 9 Pruebas de transporte y aceptación de carriers

La aceptación cambia con el producto contratado. Estas pruebas relacionan transmisión, OTN, Ethernet, evidencia submarina e interoperabilidad con la recepción del servicio de cada carrier.

Capítulo 49 Plan de aceptación por servicio

Al terminar este capítulo, el lector podrá Traducir requisitos de servicio a una aceptación por alcance.

Términos esenciales. Aceptación = decisión sobre requisitos acordados; demarcación = frontera de responsabilidad o servicio.

Aceptar conectividad significa comprobar una entrega definida. Una fibra oscura, una longitud de onda, un circuito Ethernet y un acceso IP ofrecen objetos distintos. El plan debe comenzar por la demarcación y el compromiso adquirido; después seleccionará pruebas de planta, transmisión y servicio que permitan tomar una decisión defendible.

49.1 Convertir la oferta en requisitos medibles

La ficha de servicio identificará extremos A y Z, titular, operador de infraestructura, proveedor contractual, interfaz, capacidad y fecha de entrega. A y Z designan extremos y no los dominios redundantes A y B. Se añadirá un dibujo con paneles, equipos y puntos donde cada parte puede conectar instrumentos.

Cada requisito tendrá magnitud, unidad, límite, dirección, condición de carga, duración y evidencia. La disponibilidad mensual no se demuestra con una prueba de activación de una hora: esta comprueba condiciones iniciales y habilita una línea base. El seguimiento posterior evaluará el período y las exclusiones acordados.

Una expresión como enlace de 100G es insuficiente. Debe precisarse si describe velocidad de puerto, capacidad garantizada, capacidad agregada o tráfico útil de aplicación. También se indicarán MTU, clases, tratamiento de etiquetas y límites que pertenezcan al producto.

Tabla 49.1. Convertir la oferta en requisitos medibles

Entrega	Objeto principal de aceptación	Evidencia complementaria
Fibra oscura	Fibras, continuidad, pérdida y caracterización acordada.	Ruta, empalmes, CD y PMD según uso.
Canal óptico	Modo, interfaces, margen y estabilidad de transmisión.	Carga espectral y supervisión del operador.
Ethernet	Perfil y prestaciones entre demarcaciones.	Configuración, clases y pruebas simultáneas.
IP o DCI	Destinos, rutas, capacidad y prestaciones acordadas.	Acceso, política, protección y aplicación.

49.2 Repartir pruebas propias conjuntas y del operador

El cliente puede medir su canal interno y ejecutar pruebas autorizadas entre demarcaciones accesibles. Los segmentos del carrier requieren acceso coordinado o evidencia de su sistema. Una matriz distinguirá quien ejecuta, presencia, interpreta, aprueba y conserva cada resultado.

En fibra instalada, G.650.3 ofrece una referencia de métodos y niveles de caracterización; el alcance contractual determina qué se exigirá al proveedor. Pedir PMD o CD en todo latiguillo interno sin una razón técnica añade trabajo sin asegurar mejor el servicio. [173]

Si el operador no puede entregar trazas detalladas por restricciones justificadas, se acordará evidencia alternativa suficiente: identificadores de tramo, informe de resultados, responsable, método y derecho de revisión. La limitación quedará declarada; un informe resumido no debe presentarse como una medición propia del cliente.

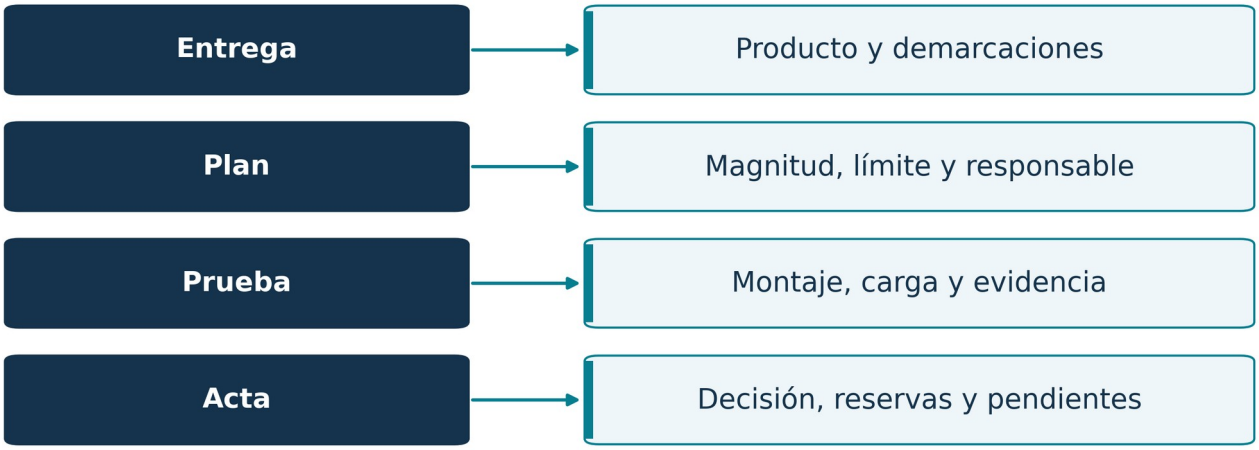


Figura 49.1. Del producto contratado al acta. La cobertura se distribuye por alcance y responsable. Elaboración propia.

49.3 Definir condiciones y decisiones antes del ensayo

Se fijarán tamaños de trama, mezcla de tráfico, direcciones simultáneas, clase y período de observación. La capacidad del generador, receptor y puerto remoto debe superar la condición exigida. Si un extremo refleja tráfico, se especificará qué capa devuelve y qué tramo incluye el resultado.

Los criterios podrán exigir ausencia de ciertos errores durante un intervalo, límites de retardo y pérdida o márgenes mínimos documentados por modo. Una prueba finita sin errores observados no prueba una probabilidad absoluta de error cero. El informe conservará volumen y duración.

La regla de decisión tratará incertidumbre, valores próximos al límite y resultados inválidos. También distinguirá aceptado, rechazado y no evaluado. La repetición por falla de montaje no borra el ensayo inicial: ambos conservarán estado y explicación.

49.4 Incluir protección y recorridos alternativos

El plan comprobará cada ruta por separado y el servicio durante la contingencia prevista. Si el tráfico completo deberá pasar por una sola entrega, esa entrega necesita capacidad y prestaciones suficientes.

Dos enlaces que cumplen individualmente en reposo pueden fallar cuando comparten carga, energía o un cuello de botella.

Se definirán cambios autorizados, pérdida de paquetes admisible durante conmutación, tiempo de recuperación y retorno. La prueba no debe desactivar simultáneamente dominios que el servicio necesita para mantenerse seguro. La coordinación incluye operación del cliente, data center y carrier.

El cambio de ruta puede modificar longitud, retardo y margen óptico. La aceptación de la principal no cubre automáticamente una alternativa desconocida. Se guardará el identificador de cada estado ensayado y sus dependencias.

49.5 Caso de un puerto mayor que el compromiso

Un caso ficticio compra un servicio de 20 Gb/s presentado en un puerto de 100 Gb/s. El cliente intenta enviar 80 Gb/s y considera defectuoso el acceso porque pierde tráfico. La ficha confirma CIR de 20 Gb/s y un perfil de ráfaga definido; la velocidad física no amplía ese compromiso.

La prueba se reorganiza para comprobar el tráfico conforme al perfil y, de manera separada, el tratamiento del exceso. Después se ensayan las clases simultáneas y la ruta de protección. Los resultados distinguen funcionamiento de interfaz, cumplimiento del servicio y necesidades futuras de ampliación.

49.6 Ficha mínima de aceptación

1. Producto, extremos y demarcaciones identificados.
2. Responsable y punto de instrumento por prueba.
3. Perfil, carga, método, límites y regla de decisión.
4. Estados principal, protección y retorno.
5. Archivos, incidencias, excepciones y firmas.

Los próximos capítulos detallan transmisión óptica, OTN, Ethernet y pruebas submarinas. El plan integra esas evidencias sin confundir el segmento medido con el servicio completo.

49.7 Convertir una oferta en una matriz de aceptación

El Campus Faro contrata dos accesos por dominios, con independencia pendiente de la revisión de SRLG, cada uno con interfaz de 100 Gb/s y CIR de 40 Gb/s. La demanda inicial es 32 Gb/s. En operación normal se distribuyen 16 Gb/s por acceso; cuando uno se pierde, el superviviente debe transportar los 32 Gb/s. La capacidad contractual superviviente queda ocupada al 80 %. La aceptación debe comprobar esa condición y las dependencias que pueden impedirla.

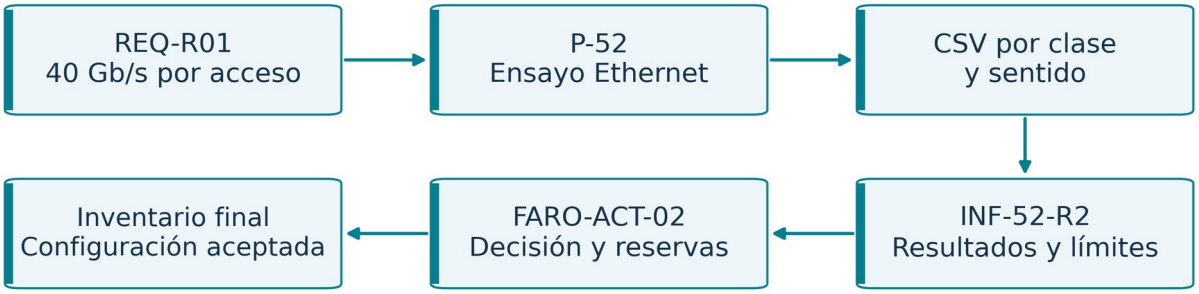


Figura 49.2. Cadena del requisito REQ-R01 a su evidencia y acta. Identificadores del proyecto ficticio. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

Tabla 49.2. Convertir una oferta en una matriz de aceptación

Requisito del caso	Objeto de ensayo	Evidencia que permite decidir
40 Gb/s por acceso	Servicio entre las UNI acordadas	Perfil, carga, resultados por clase y sentido
Canal interno utilizable	Fibra y componentes finales	Cobertura OLTS, mapa y presupuesto de aplicación
32 Gb/s durante pérdida de un acceso	Servicio en condición de contingencia	Tráfico superviviente y comportamiento de aplicación
RTT p99 dentro del objetivo por ruta	Medida IP con población definida	Serie, pérdidas, método de percentil y estado de reloj
Recuperación de una operación válida	Aplicación y datos	Transacción, integridad y cronología del ejercicio

49.8 Preparar un protocolo que se pueda ejecutar

1. Fijar los puertos de medida y delimitar qué tramo queda dentro de cada resultado. Relacionar los ensayos por segmento con la entrega de extremo a extremo.
2. Comprobar que instrumentos y extremos generan y reciben la carga necesaria. Reservar recursos y acordar condiciones de suspensión y retorno.
3. Declarar unidades de tasa, tamaño de trama o paquete, clases, duraciones, sentido y tratamiento de resultados no válidos.
4. Acordar límites de operación normal y de contingencia. Un objetivo de proyecto se identifica como tal y no se presenta como requisito universal de una norma.
5. Ejecutar primero preparación y configuración; después prestaciones y escenarios de falla definidos. Conservar excepciones hasta su cierre.
6. Emitir el acta sobre la configuración finalmente ensayada. Diferenciar pruebas ejecutadas, pruebas presenciadas y documentación aportada por terceros.

La matriz no debe esconder requisitos sin prueba. Si no existe acceso a una sección submarina, el carrier aporta la evidencia y el mecanismo de revisión previstos para su responsabilidad. La falta de

una medida propia se representa como tal, junto con la evidencia alternativa acordada. El responsable del servicio mantiene la relación entre esos documentos y el circuito que llega al cliente.

49.9 Ejercicio de capacidad con respuesta

Se ofertan dos accesos de 20 Gb/s comprometidos, ambos sobre puertos de 100 Gb/s. La demanda de 32 Gb/s cabe distribuida entre ellos, pero supera el compromiso de uno solo en 12 Gb/s durante la contingencia. La reserva de velocidad física no corrige esa diferencia contractual. La solución debe aumentar el compromiso superviviente, reducir la carga exigida en falla o modificar la arquitectura y probar el resultado.

49.10 Laboratorio 49 diseñar una aceptación por requisitos

Objetivo y entrega. Convertir una oferta en una matriz de pruebas con objeto, responsable y criterio. El alumno entrega una decisión por requisito, con estados pendientes explícitos.

Montaje y condiciones. Órdenes del proyecto ficticio, extremos de entrega, requisitos y formularios. Cada acceso tiene 100 Gb/s físicos y CIR de 40 Gb/s. La demanda es 32 Gb/s y debe mantenerse al perder uno. Los límites temporales e IP pertenecen al caso.

Material de análisis. proyecto_faro.json, resultados_resumen.json El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 49.

1. Separar fibra, transmisión, Ethernet, IP y aplicación. Identificar los extremos y la frontera de cada resultado.
2. Relacionar cada requisito con método, instrumento o evidencia del operador y condiciones de carga.
3. Definir antes del ensayo el manejo de datos inválidos, incertidumbre, repetición y pruebas no ejecutadas.
4. Revisar la capacidad sobreviviente: 32/40 = 80 %. Conservar clases y función exigidas al escenario de falla.

Resultado y criterio de cierre. La matriz puede cerrar cobertura óptica y el ensayo Ethernet descrito, pero mantiene pérdida IP A bajo carga, riesgos P-17/PEN-02 y recuperación de identidad pendientes. Ninguna firma convierte esos estados en una prueba favorable. Una aceptación parcial identifica alcance y condiciones de uso.

Desafío de nivel avanzado. El proveedor propone recibir todo porque los puertos son de 100 Gb/s. ¿Qué comparación falta?

Orientación de respuesta. Faltan compromiso del servicio, capacidad sobreviviente y cumplimiento de calidad y función. La velocidad del puerto es una propiedad de una interfaz.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

Entrega del capítulo. Matriz requisito método resultado y decisión.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué significa exactamente la capacidad ofrecida?
2. ¿Qué pruebas necesitan presencia del operador?
3. ¿Se conoce el estado de protección ensayado?
4. ¿Qué requisito sigue sin evaluar?

Capítulo 50 Transmisión óptica y márgenes

Al terminar este capítulo, el lector podrá Relacionar calidad óptica FEC y población de bits válidos.

Términos esenciales. BER = proporción de bits erróneos; OSNR = relación señal ruido óptica con referencia declarada.

Un receptor puede mostrar potencia suficiente y transportar una señal degradada. La aceptación de transmisión óptica debe relacionar modo, ruido, errores, corrección y reserva. Su alcance incluye equipos terminales y camino óptico en la configuración que quedará operativa, con condiciones representativas del sistema.

50.1 Congelar la configuración que se acepta

Se registrarán equipos, módulos y series, versiones, tasa de símbolos, modulación, FEC, frecuencia, ancho de canal, potencia y capacidad útil. El nombre comercial 400G no demuestra que dos extremos usen el mismo formato. Las tolerancias y criterios deben corresponder al modo concreto.

La ruta identificará tramos, amplificación, ROADMs, filtros y regeneraciones. Cada regeneración termina un alcance de transmisión y crea otro; un BER observado en un terminal no caracteriza de la misma manera todos los segmentos. Se dibujarán puntos de supervisión y adaptación cliente.

La carga de otros canales, el ecualizado y las potencias forman parte del estado. Aceptar un canal aislado y después cargar toda la banda puede cambiar condiciones de ruido y no linealidad. El ensayo representativo y las reservas para crecimiento se acordarán con el diseñador.

50.2 Medir potencia sin confundirla con calidad

Se comprobarán potencia transmitida, recibida y límites mínimo y máximo admisibles. Un nivel demasiado alto también puede incumplir. Deben respetarse planos de referencia, incertidumbre y pérdidas de accesorios; la lectura de diagnóstico del módulo tiene una especificación propia y no sustituye siempre al instrumento externo.

En un sistema multicanal se distinguirá potencia total de potencia por canal y, cuando proceda, potencia de señal de la que incluye ruido. La forma espectral ayuda a revisar ocupación, ecualizado y filtrado. El análisis exige resolución y rango dinámico compatibles con separación de canales y señales presentes.

No se elevará potencia como remedio general. Puede acercar el receptor a sobrecarga o agravar efectos no lineales. La intervención debe responder a un presupuesto de sistema y conservar el ajuste anterior para comparar y retornar.

Tabla 50.1. Medir potencia sin confundirla con calidad

Indicador	Interpretación necesaria	Error que debe evitarse
Potencia	Plano, banda y rango permitido.	Suponer que más siempre es mejor.
OSNR	Señal, ruido, ancho de referencia y método.	Comparar valores normalizados distinto.
GSNR estimada	Definición y modelo de deterioros.	Tratarla como lectura universal de OSA.

Indicador	Interpretación necesaria	Error que debe evitarse
BER y FEC	Capa, intervalo, validez y modo.	Interpretar cero sin señal como éxito.
Margen	Umbral y reserva para ese modo.	Aplicar un umbral de otro fabricante.

50.3 Interpretar OSNR GSNR y filtrado

OSNR relaciona señal con ruido óptico en un ancho de referencia declarado. El resultado debe indicar método, resolución y tratamiento de canales vecinos. La interpolación de ruido entre canales puede ser inadecuada cuando el filtrado altera la distribución observada; EXFO analiza esta dificultad en sistemas submarinos. [81]

GSNR incorpora una representación de deterioros que puede incluir ruido de amplificación y contribuciones no lineales. Debe conservarse la definición usada por herramienta y proveedor. No se comparará una estimación DSP con una medida espectral como si ambas fueran idénticas sin una correlación establecida.

La reserva requiere un umbral asociado a capacidad, formato y criterio de error. Un valor de Q o margen propietario debe interpretarse con su documentación. El expediente conservará qué deterioros ya incluye y qué reserva queda para envejecimiento, reparación o cambios.

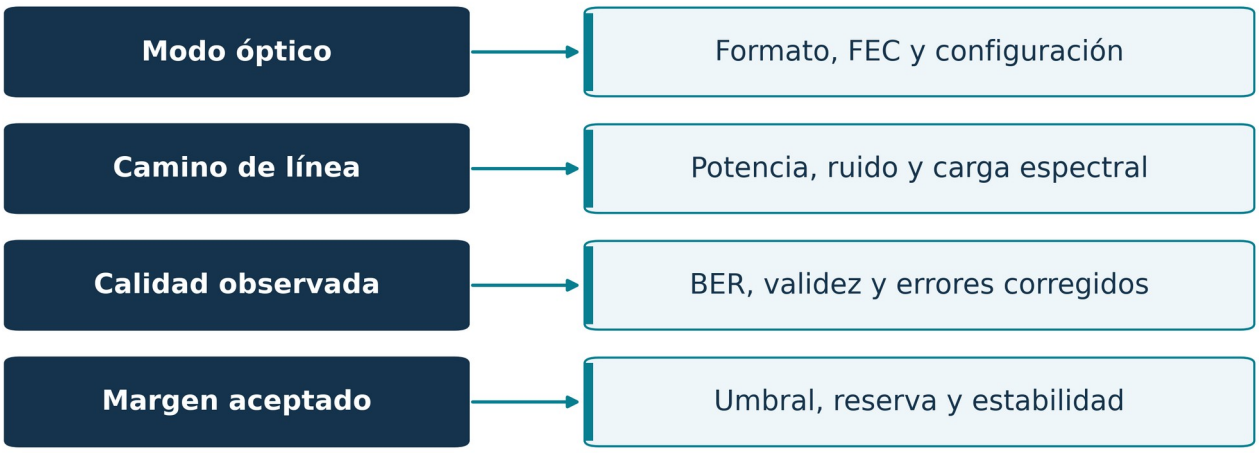


Figura 50.1. Calidad y margen de transmisión. Los indicadores se relacionan con el modo y con resultados de tráfico válidos. Elaboración propia.

50.4 Separar BER previo posterior y errores no corregidos

Montaje o lámina de apoyo: figura M.16. La leyenda conserva el alcance y las comprobaciones del ejemplo.

BER es la razón de bits erróneos al total evaluado bajo un método definido. El BER previo a FEC describe la entrada al proceso de corrección; el posterior describe su salida según la implementación. Se añadirán bits corregidos y palabras o bloques no corregibles cuando estén disponibles.

Una corrección activa puede entregar tráfico sin errores observados mientras aumenta el deterioro de entrada. La tendencia previa y el margen ayudan a anticipar degradación. También debe verificarse

que no existan pérdidas de señal, intervalos inválidos o reinicios que dejen contadores aparentando cero.

La guía Cisco IOS XR 25.x de ópticas coherentes muestra indicadores de errores corregidos, palabras no corregidas, BER y validez de intervalos. Es un ejemplo de implementación: nombres, unidades, promediado y umbrales deben revisarse en la plataforma instalada. [83]

50.5 Evaluar la estabilidad, la carga y los cambios

El plan combinará verificación inicial, observación sostenida, tráfico en ambos sentidos y estados de protección. Se registrarán intervalos completos con hora coherente, mínimo, promedio y máximo donde corresponda, junto con eventos. No se borrarán contadores antes de exportar la evidencia previa.

Un ensayo de tráfico extremo a extremo debe identificar si el instrumento observa bits, tramas o paquetes. Un resultado Ethernet favorable puede coexistir con corrección intensa en línea. La correlación entre capas permite entender la reserva y ubicar el segmento responsable.

Un cambio de modulación, FEC, potencia, ruta o carga puede exigir repetir parte de la aceptación. Se mantendrá una matriz de cambios con la evidencia afectada. Los repuestos deben pertenecer a combinaciones compatibles y estar contemplados en la recuperación.

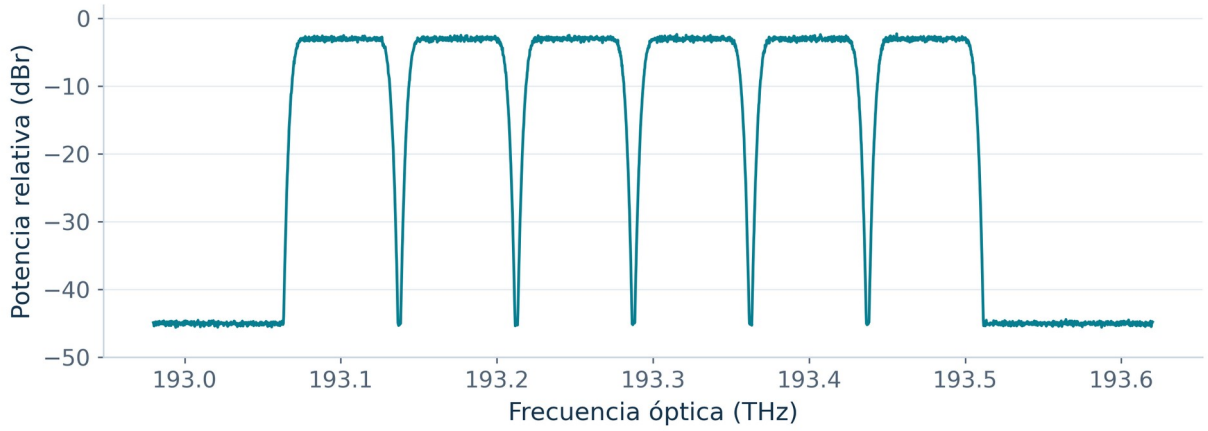
50.6 Caso de cero errores con margen en descenso

En un ejemplo ficticio, el tráfico no registra pérdida durante la aceptación, pero el peor margen de línea cae al activar canales vecinos. El equipo conserva carga y períodos de supervisión, revisa el diseño con el operador y descubre un ajuste de potencia que no representa el estado completo.

Después de corregir el ajuste se repite la observación con todos los canales previstos. La decisión utiliza margen y tráfico, junto con las reservas acordadas. Un ensayo breve sin errores habría ocultado la diferencia entre continuidad actual y capacidad de sostener cambios futuros.

50.7 Aceptar un modo óptico con margen declarado

La ficha del taller identifica un modo ficticio de línea de 200 Gb/s que transporta la entrega cliente mediante la adaptación prevista. Sus valores de GSNR son didácticos: 18,2 dB disponibles, 15,5 dB requeridos por el modo y 1,2 dB de provisión futura. El margen después de la provisión es 1,5 dB. El cálculo solo es válido si disponible y requerido emplean la misma definición, referencia y modelo.



Espectro simulado · La curva no constituye una medición de OSNR

Figura 50.2. Espectro simulado de seis canales con separación 75 GHz. La potencia relativa dibujada no constituye una medición de OSNR. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

1. Congelar módulo, host, firmware, modo, tasa de símbolos, FEC y adaptación cliente. Identificar los canales que comparten la línea.
2. Comprobar potencia y calidad con instrumentos o telemetría cuyo alcance esté declarado. Distinguir OSA, estimación del terminal y medida de errores.
3. Reproducir la carga de canales relevante para el diseño. No extender una conclusión de canal aislado a una condición de carga distinta sin justificarla.
4. Observar errores previos y posteriores a FEC, intervalos válidos, reinicios y eventos de pérdida de sincronismo.
5. Revisar el presupuesto después de añadir conexiones, reparar o modificar la ruta. Validar los estados alternativos incluidos en el compromiso.

50.8 Qué permite afirmar una prueba sin errores

Para un contador de bits válido con cero errores, el taller utiliza un modelo Bernoulli de errores independientes y probabilidad constante. La cota superior unilateral de nivel 95 % se obtiene de la probabilidad de observar cero errores; para probabilidades pequeñas se aproxima por 2,996 dividido por el número de bits observados. La derivación y el supuesto deben acompañar el resultado. No se interpreta como probabilidad posterior de que el BER real esté por debajo de una cifra. [217]

$$p_{\text{sup}} = 1 - (1 - C)^{\frac{1}{N}} \approx \frac{-\ln(1 - C)}{N}$$

Tabla 50.2. Qué permite afirmar una prueba sin errores

Objetivo ilustrativo	Bits sin error aproximadamente necesarios al 95 %	Tiempo a 100 Gb/s válidos
BER inferior a 10^{-12}	3×10^{12}	30 s
BER inferior a 10^{-15}	3×10^{15}	30 000 s, unas 8 h 20 min

La tasa utilizada es la que corresponde a los bits efectivamente observados por el contador, no necesariamente la velocidad comercial del puerto ni el CIR del servicio. Si hay errores en ráfaga,

cambios de estado, FEC o intervalos no válidos, este modelo simple no basta para extrapolar el comportamiento. Un periodo sin errores tampoco comprueba el margen óptico futuro ni la disponibilidad anual.

50.9 Ejercicio con respuesta

Un instrumento observa 10^{12} bits válidos sin error. La cota aproximada al 95 % es 3×10^{-12}. Ese resultado no demuestra el objetivo de 10^{-12} bajo el modelo del taller. Se necesita ampliar la observación válida o acordar otra decisión justificada, conservando el resultado inicial.

50.10 Laboratorio 50 interpretar cero errores y margen óptico

Objetivo y entrega. Calcular una cota BER con población y confianza declaradas, y separar ese resultado de margen de transmisión y disponibilidad.

Montaje y condiciones. BERT o contador válido en el punto pre o post FEC definido; patrón, sincronismo, reloj y tiempo efectivo registrados. El modo analítico usa 100 Gb/s válidos durante 30 s con cero errores. El espectro del kit es una simulación relativa sin calibración OSNR.

Material de análisis. espectro_optico.csv El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 50.

1. Identificar dónde se cuentan los bits y excluir intervalos sin sincronismo o datos inválidos.
2. Calcular N y la cota superior unilateral de 95 % con 1 − 0,05^(1/N), usando una evaluación numérica estable.
3. Calcular el tiempo aproximado necesario para objetivos de 10^−12 y 10^−15 con cero errores bajo el mismo modelo.
4. Revisar potencia, carga de canales, FEC y calidad del modo sin extraer OSNR de la curva relativa simulada.

Resultado y criterio de cierre. N = 3 × 10^12 bits y cota aproximada 9,986 × 10^−13. El tiempo aproximado para 10^−15 es 30 000 s a esa tasa válida. El modelo supone errores independientes y probabilidad constante. Un resultado sin errores no caracteriza automáticamente margen futuro ni disponibilidad anual.

Desafío de nivel avanzado. El contador pierde sincronismo cinco segundos y presenta cero errores al terminar treinta. ¿Se usan treinta segundos de población válida?

Orientación de respuesta. Se reconstruye el tiempo y los bits realmente válidos, conservando el evento de pérdida de sincronismo. Cero errores de un intervalo no observado no aporta población de prueba.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

50.11 Ruta de diagnóstico a partir de evidencia válida

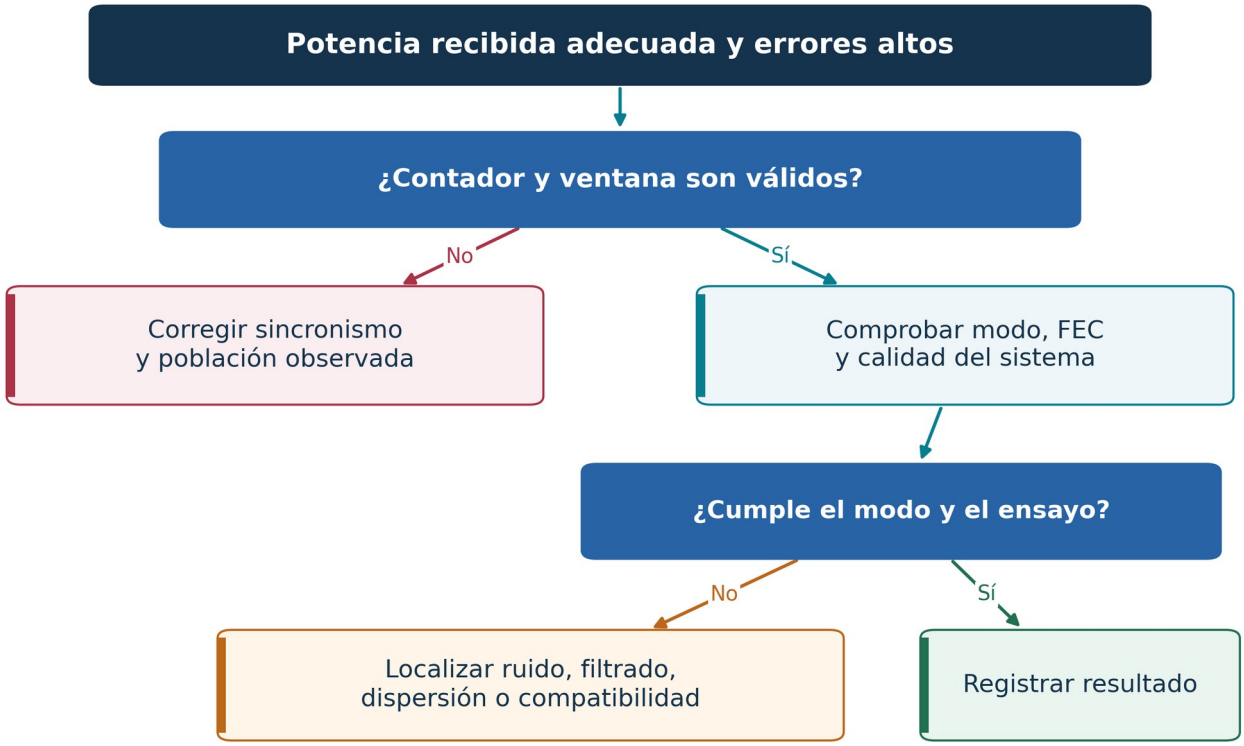


Figura 50.3. Potencia recibida adecuada y errores altos. Elaboración propia; esquema didáctico.

Cada rama indica la siguiente comprobación dentro del alcance del capítulo. Registrar el dato que motiva el cambio de rama y conservar las hipótesis no resueltas. Si el montaje o el dato son inválidos, corregir esa condición antes de emitir una decisión sobre la instalación.

Entrega del capítulo. Informe con modo margen y confianza estadística.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿El umbral pertenece al modo instalado?
2. ¿La carga de línea representa la entrega?
3. ¿Los intervalos de BER son válidos?
4. ¿Qué reserva queda después de reparar?

Capítulo 51 OTN y supervisión entre capas

Al terminar este capítulo, el lector podrá Relacionar cliente contenedor y línea en una cronología.

Términos esenciales. ODU = unidad de datos de transporte óptico; LOS = pérdida de señal.

OTN organiza el transporte y su supervisión de manera que el servicio cliente pueda relacionarse con los segmentos que lo llevan. Para aceptar un circuito hay que reconocer dónde se adapta, multiplexa, supervisa y termina cada capa. Ver únicamente el puerto Ethernet deja fuera una parte importante de la evidencia del carrier.

51.1 Dibujar adaptación y capas de transporte

Montaje o lámina de apoyo: figura M.16. La leyenda conserva el alcance y las comprobaciones del ejemplo.

El plano mostrará señal cliente, adaptación al contenedor, multiplexación cuando exista y señal de línea. Las denominaciones OPU, ODU y OTU pertenecen a funciones y estructuras de transporte; la configuración exacta depende del tipo de interfaz y de las extensiones aplicables de G.709.

El catálogo de G.709 mantiene una base de junio de 2020 y enmiendas posteriores, incluida la enmienda 4 de julio de 2025. La especificación del proyecto citará base y modificaciones que utiliza; no debe atribuir al texto base la fecha de una enmienda. [110]

La capacidad cliente no se obtiene confundiendo la velocidad de línea con tráfico útil. La adaptación y la información adicional ocupan recursos según el modo. Se verificarán asignación, multiplexación y compatibilidad de los extremos a partir de la documentación del equipo.

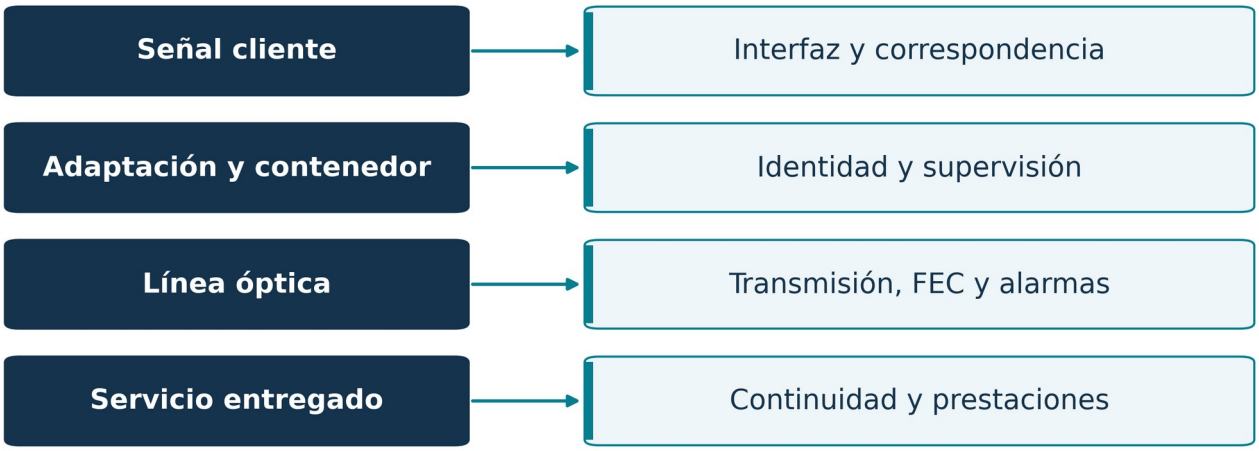


Figura 51.1. Relación funcional de cliente y transporte. La supervisión se interpreta en los puntos que realmente terminan cada alcance. Elaboración propia.

51.2 Comprobar identidad y correspondencia

Antes del ensayo se cotejarán identificadores de circuito, puertos, tributarios y destino. Una señal válida en un contenedor equivocado puede indicar una conexión incorrecta. Las funciones de identificación y supervisión disponibles deben configurarse y compararse con lo esperado.

El tráfico de prueba tendrá un patrón o identidad reconocible y se confirmará en el extremo previsto. Los bucles se documentarán por capa y ubicación. Un bucle interno puede verificar una tarjeta sin incluir la fibra externa ni el terminal remoto.

La matriz de correspondencia permitirá seguir una interfaz cliente a través de cambios de equipos y multiplexación. Será parte del inventario operativo y se actualizará después de migrar. Reservar capacidad sin activar no equivale a haber comprobado el transporte del cliente.

51.3 Leer alarmas sin perder la causa inicial

Las alarmas de pérdida de señal o trama describen condiciones detectadas en puntos concretos. Otras indicaciones comunican un defecto hacia equipos siguientes o hacia el extremo contrario. Una cascada de alarmas puede tener una sola causa física; el diagnóstico debe ordenar tiempo, dirección y capa.

Se conservarán estado inicial, primer evento, propagación y despeje. La correlación necesita relojes y resolución temporal conocidos. Si se borran alarmas antes de extraer el historial, puede perderse la pista que distingue falla de línea de una desconexión cliente.

Las pruebas de propagación de defectos deben ser controladas y acordadas. Se observará cómo el equipo cliente recibe una condición de transporte y cómo la plataforma la presenta al NOC. No basta con que el enlace vuelva: la alarma debe permitir reconocer y gestionar la interrupción.

Tabla 51.1. Leer alarmas sin perder la causa inicial

Alcance observado	Evidencia que se solicita	Pregunta de interpretación
Cliente	Errores, continuidad y tráfico válido.	¿Llegó correctamente la señal entregada?
Contenedor	Identidad y supervisión de trayecto.	¿Corresponde al destino y alcance previstos?
Segmento de línea	FEC, errores y estado óptico.	¿Dónde aparece el deterioro?
Servicio completo	Capacidad, pérdida y retardo.	¿Qué experimentó el usuario entre demarcaciones?

51.4 Relacionar contadores y períodos

Los contadores de bloques, errores y períodos degradados deben conservar su definición. No se sumarán magnitudes distintas para fabricar un porcentaje global. La disponibilidad o calidad de un trayecto tampoco se calcula mezclando ventanas de equipos que reiniciaron en momentos diferentes.

Se exportarán intervalos, duración efectiva, validez y eventos de reinicio. Los indicadores actuales pueden ser útiles para diagnóstico, pero la aceptación necesita un historial con cobertura conocida. El expediente registrará ajustes de umbral y supresiones que afecten alarmas.

La FEC puede corregir errores en un segmento y entregar una señal limpia al siguiente. Por ello, un error cliente puede no aparecer, aunque exista degradación de línea. También puede haber errores antes de la adaptación que la línea transporta sin haberlos generado.

51.5 Caso de un bucle que excluye el problema

En un caso ficticio, el carrier declara correcto un circuito porque el patrón vuelve desde un bucle interno del terminal local. El cliente sigue perdiendo tráfico. Al dibujar el punto de retorno se observa que la prueba no atravesó la línea ni la adaptación remota.

Las partes acuerdan una secuencia por alcances: cliente local, línea completa y entrega remota. La supervisión temporal encuentra un defecto en la correspondencia remota. El cierre conserva configuración, posición de bucles, tráfico y alarmas; la evidencia queda vinculada al servicio que efectivamente se entrega.

51.6 Expediente de transporte OTN

1. Interfaces cliente y línea con versiones y modo.
2. Mapa de adaptación y multiplexación.
3. Identificadores y puntos que terminan supervisión.
4. Contadores, FEC, intervalos válidos y alarmas.
5. Tráfico completo, protección y retorno documentados.

La aceptación Ethernet del capítulo 52 añade el perfil de servicio y el comportamiento por clase a esta evidencia del transporte.

51.7 Dibujar el bucle antes de interpretar el ensayo

El protocolo representa por separado interfaz cliente, adaptación, contenedor OTN, tramo de línea y extremo remoto. La ubicación de un bucle cambia el objeto observado. Un retorno local en la tarjeta cliente puede comprobar su recorrido interno mientras excluye la línea que motivó la reclamación. Cada resultado debe acompañarse del esquema del punto donde la señal vuelve.

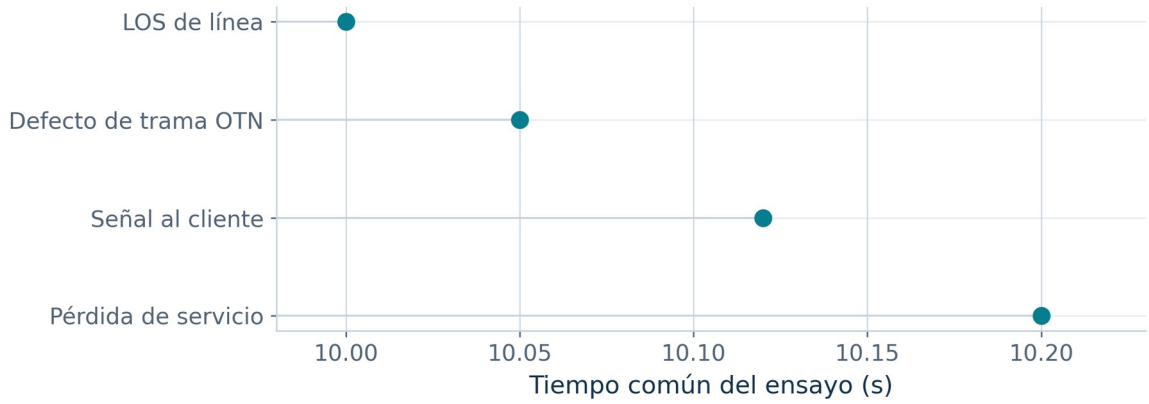


Figura 51.2. Cronología simulada de defectos con referencia temporal común e incertidumbre de reloj de 1 ms. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

1. Relacionar puerto cliente, mapeo y contenedor con la versión del circuito. Confirmar que la señal de prueba es identificable en el extremo esperado.
2. Seleccionar un bucle que incluya el segmento de interés. Acordar su activación, impacto y retirada con los responsables de cada dominio.

3. Guardar contadores y alarmas anteriores. Ejecutar el ensayo con patrón, tasa y duración adecuados al objeto observado.
4. Correlacionar primera detección, propagación y recepción de alarmas con relojes cuya incertidumbre permita comparar los eventos.
5. Retirar el bucle y verificar retorno al estado operativo, transmisión cliente y supervisión. Documentar qué quedó fuera de la prueba.

51.8 Lectura de una cascada de alarmas

En alarmas_otn.csv, la pérdida de señal de línea se registra a 10,00 s; el defecto de trama a 10,05 s; la señal al cliente a 10,12 s; y la pérdida de servicio a 10,20 s. Estos tiempos representan el ejemplo con una referencia común. El orden de llegada de tickets a una pantalla central puede ser distinto y no sustituye la cronología del origen.

Tabla 51.2. Lectura de una cascada de alarmas

Observación	Hipótesis que puede investigarse	Contraste necesario
Errores de línea con cliente aún sin errores	La corrección mantiene la entrega dentro de su capacidad	Tendencia, modo y margen; validez de los contadores
Cliente con errores y línea limpia	Problema previo al mapeo o en el extremo cliente	Prueba local y verificación de adaptación
Patrón recibido en contenedor equivocado	Correspondencia de circuito incorrecta	Identidad de tributarios y configuración en ambos extremos
Bucle local favorable y servicio degradado	El ensayo excluye parte del recorrido	Reubicar el retorno para incluir el segmento reclamado

51.9 Ejercicio de temporalidad con respuesta

Dos equipos informan alarmas separadas 2 ms, pero cada reloj tiene una incertidumbre de 5 ms. Esos registros no permiten ordenar con esa precisión los eventos entre equipos. Debe conservarse la incertidumbre y utilizar una referencia mejor o evidencia local adicional. Atribuir causalidad al primer ticket visible produciría una conclusión más precisa que los datos.

51.10 Laboratorio 51 relacionar alarmas OTN sin inventar causalidad

Objetivo y entrega. Construir una cronología por capa y evaluar si la precisión de reloj permite ordenar observaciones. El entregable incluye hipótesis y siguiente comprobación.

Montaje y condiciones. Relojes y fuentes de alarma identificados, mapas cliente–ODU–línea y bucles disponibles según autorización. El archivo contiene observaciones simuladas en 10,00, 10,05, 10,12 y 10,20 s con U de reloj de 1 ms.

Material de análisis. alarmas_otn.csv El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 51.

1. Revisar la referencia de tiempo y la incertidumbre de cada fuente antes de ordenar.
2. Situar cada evento en su capa y señalar su propagación esperable según la arquitectura.

3. Calcular separaciones temporales y compararlas con la incertidumbre. Conservar todos los eventos, incluidos restablecimientos.
4. Elegir una observación o bucle autorizado que discrimine entre las hipótesis. Registrar qué elementos quedan fuera.

Resultado y criterio de cierre. La secuencia muestra orden temporal resoluble a esta escala bajo la referencia declarada. Ese orden no prueba por sí solo la causa física. La relación entre LOS, defecto de trama y pérdida de servicio debe verificarse con mapeo, estado y evidencia del tramo.

Desafío de nivel avanzado. Dos alarmas distan 0,5 ms y cada reloj tiene U = 1 ms. ¿Cuál ocurrió primero?

Orientación de respuesta. La información disponible no establece un orden fiable. El informe conserva esa limitación y evita construir una causa a partir de diferencias menores que la incertidumbre.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

Entrega del capítulo. Mapa de capas y siguiente prueba que discrimina hipótesis.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿El bucle incluye el segmento reclamado?
2. ¿Qué equipo generó la primera alarma?
3. ¿Los contadores pertenecen a la misma ventana?
4. ¿La correspondencia cliente y contenedor está actualizada?

Capítulo 52 Activación de servicios Ethernet

Al terminar este capítulo, el lector podrá Aceptar configuración y coexistencia de clases Ethernet.

Términos esenciales. FLR = proporción de tramas perdidas; FD = retardo de trama según definición.

La activación Ethernet debe comprobar el servicio que se ofrece al cliente. Para ello se necesitan demarcaciones reconocidas, tráfico identificable y un perfil acordado. Un enlace físico activo demuestra sincronización; las prestaciones requieren una prueba que observe capacidad, pérdida y tiempo bajo condiciones representativas.

52.1 Preparar perfil interfaces y unidades

Montaje o lámina de apoyo: figura M.17. La leyenda conserva el alcance y las comprobaciones del ejemplo.

Se documentarán UNI, velocidad física, VLAN y etiquetas, MTU, clases, CIR, EIR y parámetros de ráfaga aplicables. CIR describe el compromiso dentro del perfil; EIR corresponde a exceso y no debe prometerse como capacidad garantizada. La clasificación y el tratamiento del tráfico deben coincidir en instrumento y red.

Policing limita conforme al perfil y puede marcar o descartar; shaping regula la salida mediante espera y puede añadir retardo. Sus consecuencias son diferentes. Una carga con promedio correcto puede generar ráfagas que incumplan el perfil: deben registrarse tamaño y espaciamiento, además de la tasa.

Se indicará si la tasa se expresa como información Ethernet, ocupación de línea o datos de aplicación. Preámbulo, separación y etiquetas afectan las comparaciones. La definición de tamaño de trama incluirá qué cabeceras y FCS se cuentan.

52.2 Usar Y.1564 y MEF según su alcance

Y.1564 organiza una fase de configuración por servicio y otra de prestaciones con servicios simultáneos. Se observan tasa, retardo, variación y pérdida. El documento base es de febrero de 2016 y su catálogo incluye una corrección de junio de 2021; el protocolo señalará los textos adoptados. [97]

MEF 48.1 de febrero de 2020 trata activación de E-Line, Access E-Line y Transit E-Line, con verificación y registro SAT. Su alcance no debe extenderse sin análisis a cualquier servicio IP o aplicación. El proyecto relacionará atributos del producto y casos que realmente necesita comprobar. [187]

El procedimiento de este capítulo es una guía de preparación propia. Declarar conformidad con una metodología exige revisar sus requisitos completos, opciones implementadas, configuración y resultados; seleccionar un botón con su nombre en el instrumento no basta.

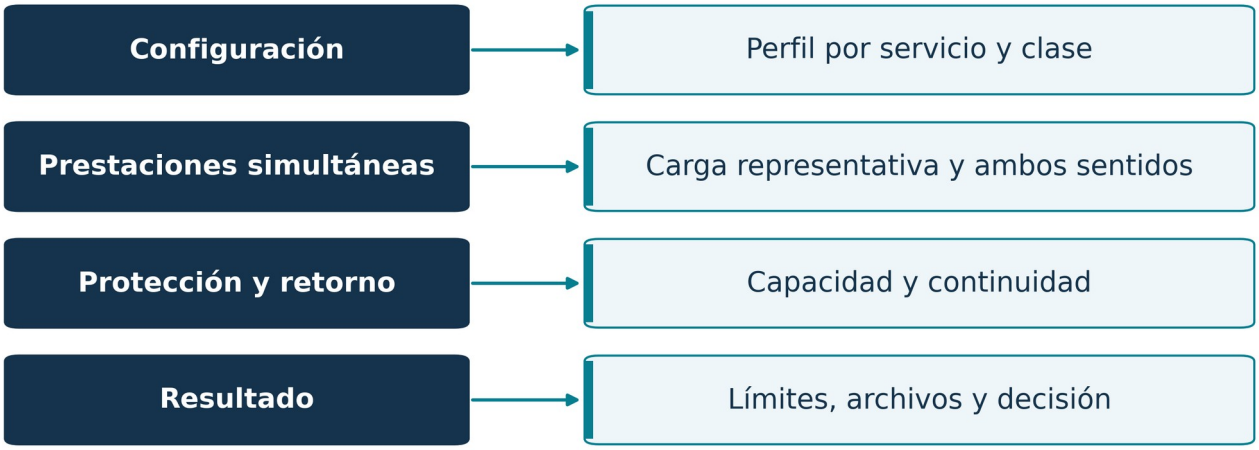


Figura 52.1. Activación del servicio Ethernet. Se comprueba configuración antes de evaluar prestaciones simultáneas. Elaboración propia.

52.3 Ejecutar una secuencia reproducible

Primero se verifican identidad, conectividad, correspondencia de etiquetas y tamaño máximo acordado. Se comprueba que el instrumento remoto acepta la carga y que no existe un cuello de botella ajeno al servicio. Se guardan contadores iniciales y reloj de cada extremo.

Después se evalúa cada perfil con cargas y duraciones definidas, incluyendo tratamiento del exceso cuando sea aplicable y seguro para otros servicios. Finalmente se ejecutan las clases y servicios de forma simultánea, conservando resultados separados. Un resultado agregado puede ocultar que una clase incumple.

El plan cubrirá ambos sentidos. Para medidas unidireccionales se verificará sincronización y su incertidumbre; para ida y vuelta se declarará el alcance y no se deducirá cada dirección dividiendo por dos. Los estados de protección requieren su propia verificación.

Tabla 52.1. Ejecutar una secuencia reproducible

Campo de ensayo	Condición que debe quedar escrita	Evidencia
Carga	Tasa, ráfaga y servicios simultáneos.	Configuración y contadores por flujo.
Tramas	Tamaños, mezcla y etiquetas.	Patrón exacto y MTU comprobada.
Tiempo	Sentido, reloj y duración.	Series y períodos válidos.
Decisión	Límite por clase y perfil.	Resultado y excepción identificada.

52.4 Interpretar pérdida y variación

La pérdida se calculará con contadores compatibles de tramas enviadas y recibidas, identificando duplicados, errores y tratamiento del reordenamiento. No se compararán contadores antes y después de un reinicio sin delimitar ventanas. El número de observaciones condiciona qué puede concluirse sobre eventos raros.

Retardo y variación necesitan definición estadística y puntos de medida. Un promedio favorable puede coexistir con colas que dañen una clase sensible. Deben conservarse distribución o métricas suficientes para el compromiso, junto con la carga bajo la que se obtuvieron.

RFC 2544 es una referencia de benchmarking de dispositivos en condiciones controladas. RFC 6815 explica que trasladar sus pruebas de sobrecarga a redes de producción puede resultar perjudicial. La activación en una red compartida exige un procedimiento autorizado y adaptado al servicio. [98]

52.5 Caso de clases correctas por separado

Un ejemplo ficticio presenta tres clases de 2, 8 y 10 Gb/s sobre una entrega con capacidad suficiente para el perfil acordado. Cada clase cumple cuando se prueba sola; al ejecutarlas juntas, una clasificación incorrecta dirige dos clases a la misma cola y aumenta el retardo de la prioritaria.

La revisión conserva marcas de entrada, clasificación interna y resultados por flujo. Se corrige la política y se repiten configuración y prestaciones. Después se comprueba protección. El caso muestra por qué comprobar tres servicios aislados no equivale a aceptar su coexistencia.

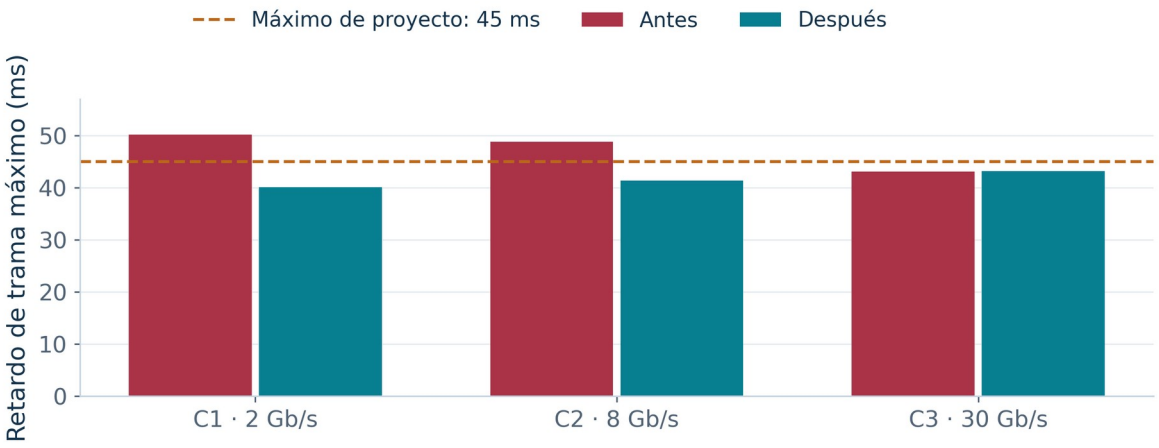
52.6 Protocolo resuelto de activación de tres clases

El acceso A del Campus Faro utiliza tres clases didácticas: C1 con CIR de 2 Gb/s, C2 con 8 Gb/s y C3 con 30 Gb/s. Suman 40 Gb/s. El protocolo declara cómo cuenta los octetos de trama, el tratamiento de etiquetas y el FCS, y mantiene la misma convención al configurar el generador y comparar tasas. La interfaz física permanece en 100 Gb/s; su velocidad no cambia el compromiso de cada clase.

Tabla 52.2. Protocolo resuelto de activación de tres clases

Parámetro del ejercicio	Valor o condición
Entorno	Servicio retirado de operación e interfaces de ensayo controladas
Tramas de la serie numérica	1024 bytes incluyendo FCS bajo la convención del caso
Configuración por clase	Escalones 25 %, 50 %, 75 % y 100 % de CIR; 10 s ilustrativos por escalón
Prestaciones simultáneas	Las tres clases durante 900 s en cada sentido
Retardo de trama	Máximo observado de proyecto hasta 45 ms por clase
Pérdida	Cálculo por secuencia y población de tramas válidas; límite de proyecto 10^{-5}

Las duraciones anteriores definen este taller y no constituyen una transcripción de todas las opciones o requisitos de Y.1564 o MEF 48.1. La UIT identifica Y.1564 como una metodología fuera de servicio. El protocolo que declare conformidad debe aplicar el texto completo adoptado, sus opciones y el producto concreto. RFC 6815 reserva el benchmarking RFC 2544 a un entorno aislado; una autorización de cambio no convierte sus pruebas de sobrecarga en pruebas adecuadas sobre tráfico vivo compartido. [97, 98, 187]



Caso Campus Faro · Datos simulados

Figura 52.2. Máximos de retardo simulados durante la carga simultánea. La línea representa un límite del proyecto ficticio. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

52.7 Ejecución y lectura del resultado

1. Verificar UNI, etiquetas, correspondencia de clases y MTU antes de elevar la carga. Confirmar que el receptor y el retorno no limitan el ensayo.
2. Evaluar la configuración de cada perfil y el tratamiento del tráfico dentro y fuera de su compromiso en el entorno controlado.
3. Ejecutar prestaciones con las tres clases simultáneas. Conservar por clase y sentido tramas enviadas, recibidas, pérdidas y medidas temporales.
4. Comparar cada resultado con su criterio. En la condición inicial, C1 alcanza 50,2 ms y C2 48,8 ms: ambas superan 45 ms aunque C3 cumpla.
5. Corregir la clasificación y repetir. Los máximos finales del ejemplo son 40,1; 41,4 y 43,2 ms. El archivo conserva ambas condiciones y los contadores finales.
6. Ejecutar el caso de contingencia previsto y verificar el retorno operativo antes de cerrar.

La serie de ejemplo usa contadores enteros calculados con 900 s y el tamaño declarado. Las tasas efectivas se reconstruyen a partir de esos contadores y duración; no se fuerza un número entero de tramas a representar una precisión inexistente. Cero pérdidas en esta población es un resultado de activación limitado a su ventana y no una garantía permanente de pérdida nula.

52.8 Ejercicio de diagnóstico con respuesta

Cada clase cumple por separado y dos incumplen al ejecutarse juntas. La primera hipótesis a contrastar es la clasificación y competencia por recursos compartidos. Deben revisarse marcas, colas, policers y carga concurrente. Repetir tres pruebas aisladas no valida la coexistencia que exige el servicio.

52.9 Laboratorio 52 activar tres clases y comprobar coexistencia

Objetivo y entrega. Reconstruir tasas a partir de contadores enteros y comparar pruebas aisladas con carga simultánea. La decisión se emite por clase y sentido.

Montaje y condiciones. Generador y reflector compatibles en un entorno fuera de servicio autorizado. Clases C1/C2/C3 con CIR 2/8/30 Gb/s según la convención L2 del taller, trama de 1024 bytes con FCS y 900 s de observación. Los escalones y tiempos didácticos no acreditan por sí solos ejecución integral de Y.1564.

Material de análisis. ethernet_activacion.csv El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 52.

1. Confirmar UNI, VLAN, clasificación, tamaño y convención de bytes en ambos extremos.
2. Reconstruir tasa enviada y recibida mediante contador × 1024 × 8 / duración, sin exigir un número fraccionario de tramas.
3. Comparar los máximos iniciales de retardo con 45 ms por clase bajo coexistencia.
4. Revisar la condición final y ambos sentidos. Conservar población, pérdidas observadas y límites del protocolo adoptado.

Resultado y criterio de cierre. C1 y C2 fallan inicialmente por 50,2 y 48,8 ms; C3 registra 43,1 ms. Los máximos finales 40,1, 41,4 y 43,2 ms cumplen el límite del caso. Cero tramas perdidas es una observación sobre esa población y ventana, no una garantía de pérdida nula permanente.

Desafío de nivel avanzado. Cada clase cumple por separado, pero dos fallan juntas. ¿Se acepta coexistencia?

Orientación de respuesta. Se investiga clasificación y recursos compartidos y se repite carga simultánea. Las pruebas aisladas no representan el requisito de coexistencia.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

Entrega del capítulo. Resultados por clase sentido tamaño y condición de carga.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Tasa ofrecida y CIR usan la misma definición?
2. ¿Se ensayan las clases simultáneamente?
3. ¿El exceso puede afectar otros clientes?
4. ¿El acta identifica dirección y duración?

Capítulo 53 Pruebas submarinas y de backhaul

Al terminar este capítulo, el lector podrá Integrar evidencia submarina backhaul y entrega al cliente.

Términos esenciales. Planta repetida = sistema con repetidores; alcance contratado = objeto de la entrega.

Medir desde el cable submarino exige participar en una cadena de evidencias y responsabilidades. Un cliente de data center no tiene acceso directo a toda la planta sumergida. El plan debe integrar las pruebas del sistema submarino, la estación de amarre, el backhaul y el servicio que llega al rack, respetando los alcances de cada operador.

53.1 Reconocer planta húmeda terminales y acceso terrestre

El esquema identificará cable sumergido, repetidores y unidades de derivación donde existan; estación de amarre, terminales de línea submarina y alimentación del sistema; y transporte terrestre hasta el data center. No todos los cables tienen igual arquitectura: hay sistemas con repetidores y sistemas sin repetidores.

Se indicarán propietarios, consorcio u operador, proveedor de capacidad y responsables del backhaul. Comprar una longitud de onda o un servicio Ethernet no entrega necesariamente derechos de inspección sobre cada activo. Esos derechos y la evidencia disponible se deben acordar durante la contratación.

Los equipos de alimentación y los procedimientos de planta submarina requieren personal y métodos especializados. El protocolo del cliente debe pedir evidencia y coordinar pruebas autorizadas; no debe convertir un procedimiento de medición óptica en una instrucción para intervenir alimentación o equipos energizados.

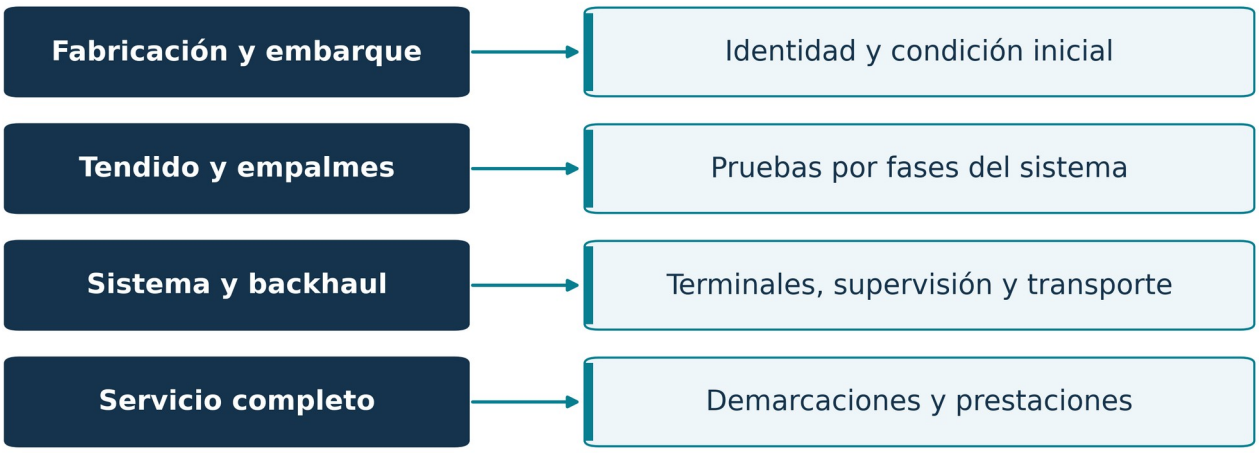


Figura 53.1. Hitos de evidencia submarina y terrestre. La aceptación completa relaciona fases y demarcaciones. Elaboración propia.

53.2 Medir por fases del proyecto submarino

G.976 de noviembre de 2025 reúne métodos de prueba aplicables a sistemas ópticos submarinos. La selección debe corresponder a fase, arquitectura y alcance: fabricación, instalación, puesta en servicio y mantenimiento no ofrecen los mismos puntos de acceso ni condiciones. [50]

La matriz del proyecto vinculará cada cable, sección, unidad y terminal con resultados de fábrica, embarque, tendido, empalmes y aceptación del sistema según el contrato. La evidencia por hitos ayuda a reconocer cuándo se produjo un cambio y qué configuración quedó instalada.

Se conservarán identificadores, rutas conforme a instalación, empalmes y reservas documentadas. Las distancias de supervisión óptica deben relacionarse con el recorrido real mediante datos del sistema. Una posición estimada por tiempo de propagación no determina por sí sola una ubicación geográfica exacta.

53.3 Distinguir OTDR terrestre de supervisión submarina

Una medida OTDR convencional no atraviesa de forma indiscriminada repetidores ópticos ni caracteriza cualquier sistema transoceánico como una fibra pasiva. Las técnicas de supervisión y reflectometría específicas deben corresponder a la arquitectura y a los accesos previstos por el fabricante.

En sistemas compatibles, COTDR utiliza detección coherente para fines de supervisión y localización óptica. Su alcance, sensibilidad y relación con elementos del sistema requieren interpretación especializada. Se solicitará informe con método y condiciones, sin exigir una traza convencional que el sistema no puede producir.

G.979 de noviembre de 2025 aborda características de sistemas de supervisión submarina. La evidencia operacional debe incluir capacidad de observar fallas y deterioros, identificación de alarmas y procedimientos de escalamiento. El cliente necesita saber qué información recibirá y con qué plazo. [60]

Tabla 53.1. Distinguir OTDR terrestre de supervisión submarina

Alcance	Evidencia que se integra	Límite de interpretación
Planta submarina	Pruebas por fases y supervisión especializada.	No equivale a ensayo directo del cliente.
Terminales	Modo, FEC, errores y margen.	Depende de carga y configuración.
Backhaul	Ruta, fibra o transporte y protección.	Debe identificarse cada tramo contratado.
Servicio al rack	Perfil y prestaciones entre demarcaciones.	No localiza por sí solo una falla submarina.

53.4 Aceptar transmisión y backhaul

La aceptación de terminales verificará capacidad, modo, carga espectral, errores y estabilidad con las reservas del diseño. CD y PMD deben tratarse según la caracterización y compensación del sistema. El resultado no se reduce a una lectura de potencia en la estación.

El backhaul se evaluará como un tramo específico: entradas a la estación, rutas terrestres, regeneraciones, equipos y entrega al campus. Si el servicio usa dos sistemas submarinos pero ambos llegan por el mismo corredor terrestre, la diversidad internacional conserva una dependencia local importante.

Las pruebas de servicio atravesarán el camino realmente entregado hasta el data center. Se medirán capacidad, retardo, variación y pérdida con condiciones definidas; después se ensayarán alternativas cuando el contrato las contemple. La hora de activación y el identificador de ruta deben conservarse.

53.5 Preparar reparación y nueva línea base

Una reparación puede añadir cable, empalmes y modificaciones de ruta, y puede consumir margen. Se acordarán pruebas posteriores, evidencia de continuidad, configuración final y actualización de presupuesto. La recuperación del tráfico precede a veces al cierre documental, pero no debe eliminarlo.

En un caso ficticio, dos circuitos sobre cables submarinos distintos fallan por una obra en el acceso terrestre común. La revisión no cuestiona la diferencia de cables: corrige la matriz de riesgos y contrata una alternativa terrestre verificable. Después repite conmutación y prestaciones.

El expediente final permitirá seguir una incidencia desde el servidor hasta el operador responsable del segmento. Cada dato conservará origen y alcance; donde haya una restricción de acceso se indicará qué evidencia sustenta la aceptación.

53.6 Construir el expediente desde el sistema submarino

La ruta A del Campus Faro representa 5800 km submarinos y 700 km terrestres, sumados a escala de recorrido óptico del ejemplo. La ruta B representa 6400 y 1100 km, respectivamente. Los totales de 6500 y 7500 km no son distancias geográficas entre ciudades. Cada entrega conserva su delimitación y su responsable, incluso cuando un único carrier comercial integra varios propietarios de infraestructura.

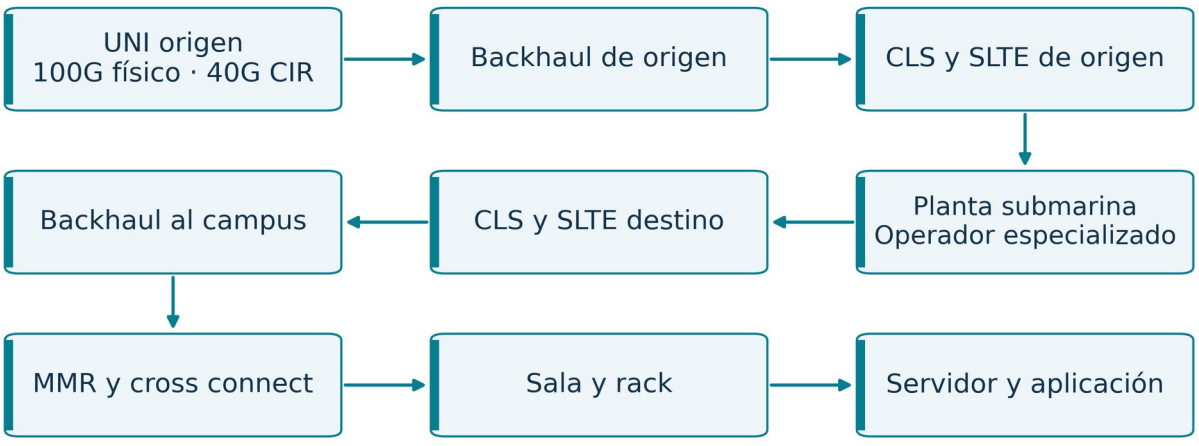


Figura 53.2. Recorrido funcional completo del caso. El dibujo no representa ubicaciones reales ni derechos de acceso a infraestructura. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

Tabla 53.2. Construir el expediente desde el sistema submarino

Dominio	Evidencia solicitada	Quién la aporta en el caso
Planta submarina	Identidad, arquitectura y pruebas aplicables al sistema	Operador especializado a través del carrier
Terminales de línea	Modo, errores, calidad y márgenes bajo carga	Operador de transmisión
Backhaul	Ruta, capacidad, demarcaciones y pruebas de su producto	Carrier y titulares del transporte
Campus	Entrada, MMR, cross connect y canal al rack	Operador del data center
Servicio completo	Carga, pérdida, retardo y contingencia entre UNI	Responsable contractual con participación de extremos

53.7 Método de revisión conjunta con el carrier

1. Relacionar el identificador comercial con el circuito, sus terminales y la arquitectura de planta. Confirmar qué partes están incluidas en la entrega.
2. Pedir la matriz de pruebas por fase y sistema. Separar evidencias de fabricación, puesta en servicio, reparación y operación actual.
3. Acordar cómo se revisa la información sensible y qué excepciones quedan explícitas cuando no se entregan trazas originales de una infraestructura de tercero.
4. Contrastar planta y terminales con pruebas del servicio en los puntos contratados. Mantener la relación entre cada resultado y su estado de protección.
5. Después de reparar, revisar ruta, configuración, margen y reserva. Repetir el ensayo que demuestra el alcance modificado, además de actualizar la documentación.

Un OTDR convencional de planta externa no caracteriza indiscriminadamente una cadena transoceánica de repetidores. Los mecanismos de supervisión, COTDR y localización dependen del sistema y de los accesos del operador. La alimentación PFE y la planta energizada se mantienen dentro de procedimientos especializados; una guía de aceptación del cliente no es una instrucción para intervenirlas. El expediente del cliente necesita resultados verificables y responsabilidades, no acceso físico a todo equipo del recorrido.

53.8 Ejercicio de independencia con respuesta

Los sistemas submarinos A y B son distintos, pero sus servicios utilizan un mismo puente terrestre antes de la entrada al campus. La diferencia de cables no cubre la pérdida del puente. Se requiere una alternativa que evite ese recurso, un escenario de servicio reducido explícito o una aceptación consciente del riesgo residual. La matriz SRLG debe representar el recurso común y los servicios afectados.

53.9 Laboratorio 53 integrar evidencia submarina y terrestre

Objetivo y entrega. Preparar una solicitud de evidencia que pueda trazarse desde el sistema submarino hasta el punto del cliente, reconociendo las restricciones de acceso.

Montaje y condiciones. Contrato, arquitectura del operador, estaciones de amarre, backhaul y demarcaciones. La práctica utiliza longitudes ópticas ficticias A = 6500 km y B = 7500 km. Las pruebas especializadas de planta repetida las define y ejecuta el operador competente; no se propone conectar un OTDR convencional a través de repetidores.

Material de análisis. proyecto_faro.json El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 53.

1. Identificar sistema, terminales, segmentos y alcance contratado, con responsable de integrar cada informe.
2. Solicitar resultados y estados de carga pertinentes a la arquitectura, junto con restricciones o evidencia no disponible.
3. Relacionar el backhaul y la entrada al campus con pruebas propias del canal y del servicio entregado.
4. Comparar propagación mínima didáctica con RTT observado sin usarlas como equivalentes ni como prueba del trazado físico.

Resultado y criterio de cierre. Con velocidad supuesta de 200 000 km/s, los pisos de propagación unidireccional son 32,5 y 37,5 ms. No incluyen procesamiento, colas ni geografía verificada. El expediente conserva evidencia por tramo y servicio; una sección no accesible mantiene su forma de comprobación acordada.

Desafío de nivel avanzado. Dos carriers ofrecen cables submarinos diferentes y comparten el mismo puente en el backhaul. ¿Se cierra diversidad?

Orientación de respuesta. El riesgo compartido del puente permanece. La revisión debe seguir todos los tramos y condiciones del escenario que se pretende tolerar.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

Entrega del capítulo. Expediente por tramo con restricciones de acceso.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué arquitectura submarina utiliza el servicio?
2. ¿Qué evidencia entrega el operador y cuál falta?
3. ¿El backhaul tiene dependencias comunes?
4. ¿La reparación actualiza margen y recorrido?

Capítulo 54 Interoperabilidad entre proveedores

Al terminar este capítulo, el lector podrá Probar una combinación exacta de proveedores y versiones.

Términos esenciales. Interoperabilidad = funcionamiento conjunto verificado; modo = configuración operativa definida.

La interoperabilidad se demuestra para combinaciones concretas. Coincidir en velocidad nominal o formato mecánico no asegura que host, módulo, terminal remoto y sistema de línea trabajen juntos con el margen y las funciones requeridas. La aceptación debe cubrir transmisión, gestión y sustitución durante la operación.

54.1 Construir la matriz de compatibilidad

Cada fila identificará plataforma y puerto, hardware, módulo y revisión, firmware, software del host, extremo remoto, modo cliente y modo de línea. La combinación se relacionará con soporte declarado y pruebas realizadas. Desconocido, soportado y probado son estados distintos.

La matriz incluirá formato y tasa de símbolos, modulación, FEC, frecuencia, banda, potencia, ancho de canal y requisitos del sistema óptico. Las interfaces eléctricas del host y sus modos de breakout también deben corresponder al módulo. Una óptica que enciende puede seguir sin establecer el datapath correcto.

Los límites térmicos, consumo y refrigeración forman parte de la integración. La densidad máxima de puertos puede depender de las condiciones de plataforma y ambiente. No se generalizará una combinación validada a otra tarjeta o revisión sin revisar su alcance.

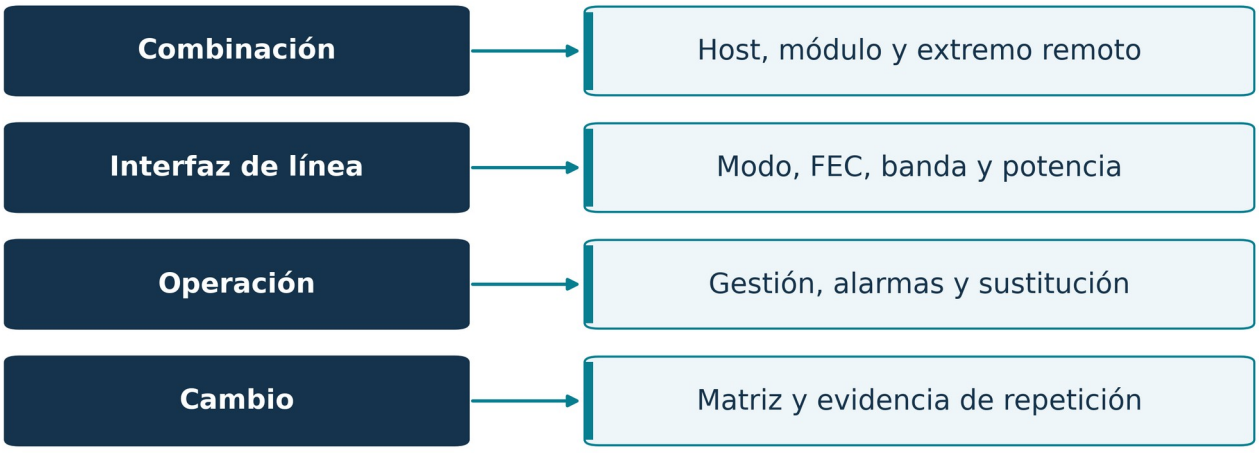


Figura 54.1. Interoperabilidad por combinación. La prueba óptica se complementa con gestión, repuestos y cambios. Elaboración propia.

54.2 Ensayar pares y sentidos reales

Una prueba con dos módulos iguales establece una referencia útil, pero no demuestra todas las parejas entre proveedores. Se ensayarán los transmisores y receptores que podrán coexistir, en ambos sentidos y con las condiciones de línea acordadas. La reserva se evaluará por combinación.

El informe OIF de 800ZR del plugfest OFC 2025 utilizó una matriz de transmisores y receptores y observó diferencias entre combinaciones. También señala límites temporales del ensayo y necesidad de evaluación adicional. Es evidencia de un montaje concreto, no una certificación universal de todo equipo 800ZR. [188]

El laboratorio puede explorar ruido, atenuación y límites en un entorno aislado. En campo se verificarán la combinación instalada, ruta y carga reales. Las condiciones de estrés no deben trasladarse a producción sin un procedimiento y una ventana que controlen su impacto.

54.3 Validar gestión alarmas y reemplazos

Se comprobará que el host identifica módulo y modo, aplica parámetros y lee telemetría con unidades correctas. Las alarmas deben llegar al sistema de supervisión y conservar sentido. Un enlace que transporta datos pero oculta temperatura, falla o configuración crea una limitación operativa.

Se validarán inicio, reinicio, pérdida y retorno de señal, inserción de repuesto y recuperación prevista. El procedimiento debe establecer qué acciones interrumpen servicio y cuánto tarda en recuperar. También se revisarán ajustes que el host restaura o cambia al reconocer otro módulo.

El soporte comercial debe identificar quién atiende una incidencia de combinación. La aceptación registrará condiciones y restricciones confirmadas por las partes. Un repuesto de emergencia fuera de la matriz puede restituir temporalmente, pero requiere verificación y regularización.

Tabla 54.1. Validar gestión alarmas y reemplazos

Dimensión	Prueba propuesta	Resultado a conservar
Host y módulo	Reconocimiento y modo seleccionado.	Versiones y configuración aplicada.
Extremos	Tráfico y margen por pareja y sentido.	Identidad, carga y período.
Sistema de línea	Banda, potencia y filtrado.	Ruta y estado representativo.
Operación	Alarmas, reinicio y sustitución.	Secuencia y tiempo de recuperación.

54.4 Gestionar actualizaciones y capacidad abierta

Una actualización puede cambiar soporte de módulos, valores predeterminados o presentación de indicadores. Antes de desplegar se revisarán notas oficiales y se probará una combinación representativa. El respaldo debe incluir configuración y una estrategia de retorno compatible con la plataforma.

Abrir un sistema óptico a terminales distintos exige límites de interfaz y responsabilidades claras. Deben distinguirse control de línea, control del terminal y cálculo de rendimiento. Una interfaz abierta no elimina las restricciones físicas ni convierte cualquier par de equipos en intercambiable.

La matriz tendrá fecha, responsable y evidencia. Cada cambio clasificará si mantiene condiciones aceptadas o requiere repetición. Las combinaciones retiradas se conservarán en historial para interpretar incidentes anteriores.

54.5 Caso de repuesto reconocido pero incompatible

Un caso ficticio sustituye una óptica por otra con el mismo formato y velocidad comercial. El host la reconoce, pero el enlace no levanta porque los extremos seleccionan FEC diferente. La investigación preserva alarmas y compara modo de aplicación, en vez de limpiar repetidamente una conexión que no explica el fallo.

El equipo utiliza un repuesto de combinación validada, recupera tráfico y después ensaya el candidato en laboratorio. El inventario distingue repuestos aptos para cada modo. La lección operativa es aceptar la combinación completa antes de depender de ella durante una emergencia.

54.6 Matriz de combinaciones ensayadas y soportadas

La aceptación identifica una combinación completa: host y firmware, módulo y versión, modo de aplicación, extremo remoto, FEC, adaptación cliente y canal. Un repuesto del mismo formato mecánico puede utilizar un modo o esquema de FEC diferente. La matriz distingue expresamente tres estados: soporte declarado, prueba realizada y aceptación bajo condiciones. Ninguno se deduce de los otros dos.

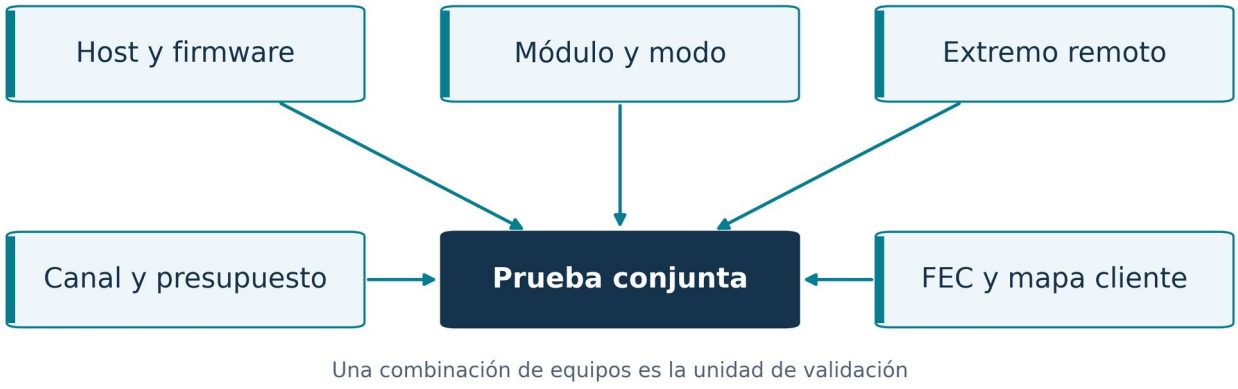


Figura 54.2. Relaciones que forman una combinación de interoperabilidad. El esquema no prescribe un fabricante. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

Tabla 54.2. Matriz de combinaciones ensayadas y soportadas

Combinación didáctica	Soporte declarado	Prueba conjunta	Decisión
Host H1 y módulo M1 con FEC F1 en ambos extremos	Confirmado para la versión anotada	Completa bajo el canal de referencia	Aceptada en su alcance
Mismo módulo con extremo remoto en FEC F2	Pendiente de conciliación	Enlace no establece	Corregir el modo antes de repetir
Repuesto M2 de igual formato	Solo equivalencia mecánica conocida	No ejecutada	Candidato sin aceptación
Actualización de firmware H1-R2	Cambios de compatibilidad por revisar	Regresión pendiente	Mantener versión aceptada hasta validar

54.7 Ensayo de cambio y operación

1. Guardar la combinación inicial y el mecanismo de recuperación. Verificar repuestos y acceso de gestión antes de intervenir.

2. Establecer enlace con el modo previsto y confirmar lectura correcta de identidad, velocidad, carriles y FEC.
3. Ensayar tráfico, margen y supervisión en ambos sentidos y en el canal aceptado. Observar reinicios de contadores y alarmas, no solo sincronización.
4. Ejecutar el reemplazo o actualización definido, con criterios de parada y retorno. Comprobar qué estado adopta cada extremo durante la transición.
5. Repetir las pruebas afectadas por el cambio y conservar el alcance de la regresión. Actualizar el estado de la combinación y del repuesto.

La ausencia de una falla en un ensayo corto no establece por sí sola compatibilidad para todos los modos del producto. Una ficha de laboratorio debe declarar las condiciones y configuraciones no probadas. El inventario operativo puede usar esa ficha para seleccionar un repuesto que conserve tanto transmisión como supervisión y soporte.

54.8 Ejercicio de repuesto con respuesta

Un módulo alternativo es reconocido por el host, pero el enlace no establece. Antes de declarar un defecto de fibra se comparan aplicación, carriles, FEC y configuración remota con la matriz. Si se encuentra un modo distinto, se corrige bajo el procedimiento autorizado y se repite tráfico y gestión. Reconocimiento del módulo y compatibilidad de la pareja son observaciones diferentes.

54.9 Laboratorio 54 comprobar una combinación de interoperabilidad

Objetivo y entrega. Construir una matriz por combinación exacta y comprobar funcionamiento, observación y recuperación. El entregable diferencia soporte declarado y ensayo realizado.

Montaje y condiciones. Dos extremos compatibles, ópticas, software, firmware, FEC, canal y host identificados. En modo documental se completa una matriz con estados pendientes; no se inventa una homologación de fabricante. El escenario puede comenzar con un par de referencia y modificar un componente por vez.

Material de análisis. Formulario del kit y documentación del montaje. El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 54.

1. Registrar números de parte, versiones, modos, conectores, canal y condiciones de carga.
2. Consultar soporte de la combinación y listar funciones que necesitan ensayo adicional.
3. Probar reconocimiento, sincronismo, calidad, tráfico, alarmas y recuperación tras la falla autorizada.
4. Repetir las pruebas afectadas después de un cambio y conservar la combinación que produjo cada resultado.

Resultado y criterio de cierre. Una conexión que transporta tráfico queda acreditada para ese montaje y alcance. Si no se ensayó recuperación o gestión, esos campos permanecen pendientes. Compartir una forma mecánica o una velocidad nominal no cierra la matriz.

Desafío de nivel avanzado. La pareja funciona, pero tras reiniciar un extremo requiere intervención manual no prevista. ¿Cumple recuperación automática?

Orientación de respuesta. El tráfico en régimen estable y el requisito de recuperación tienen resultados distintos. Se corrige o se acepta expresamente la restricción dentro de su alcance.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

Entrega del capítulo. Matriz de combinaciones y funciones comprobadas.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La matriz distingue soporte de prueba realizada?
2. ¿El repuesto utiliza el mismo modo y FEC?
3. ¿Se han observado alarmas y recuperación?
4. ¿Una actualización invalida parte de la evidencia?

Capítulo 55 Expediente y recepción contractual

Al terminar este capítulo, el lector podrá Emitir una decisión coherente con todo el expediente.

Términos esenciales. Reserva de aceptación = condición pendiente explícita; versión = estado identificable de un documento.

El expediente transforma mediciones dispersas en una entrega trazable. Debe permitir reconocer qué se probó, cómo se decidió y qué quedó pendiente. Un conjunto de informes con la palabra aprobado pierde valor si no puede asociarse al circuito, la configuración y la versión que recibió el cliente.

55.1 Organizar identidad y cobertura

Se creará una portada de servicio con extremos, demarcaciones, número de orden, fecha, versión y responsables. El índice de pruebas relacionará requisito, activo o servicio, método, archivo original, informe y decisión. Se distinguirá cobertura completa, parcial y no evaluada.

Los nombres de archivo incluirán identificadores estables, dirección y versión cuando sean pertinentes. Una estructura por proyecto y alcance facilita encontrar datos, pero no reemplaza un catálogo. El mismo archivo puede sustentar varios requisitos si se documenta esa relación sin duplicar resultados contradictorios.

Las restricciones de acceso o confidencialidad tendrán una vía autorizada de consulta. Los planos sensibles pueden tener una distribución diferente del resumen al cliente. El control de acceso debe conservar disponibilidad operativa y evitar que la única copia útil dependa de una persona.

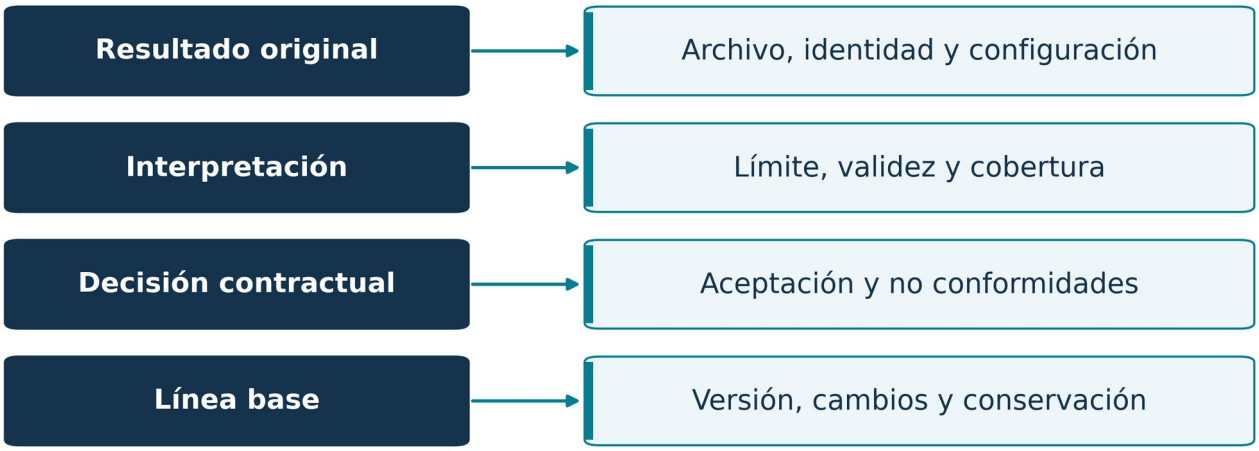


Figura 55.1. Cadena de evidencia y recepción. La decisión se apoya en resultados identificados y conserva una línea base versionada. Elaboración propia.

55.2 Conservar originales montaje y estado metrológico

Se guardarán trazas nativas, resultados completos y exportaciones legibles, junto con modelo, serie, software y configuración del instrumento. Las fotografías o dibujos del montaje deben identificar planos de referencia y accesorios. Una captura de pantalla no sustituye el archivo que permite revisar eventos y límites.

El estado de calibración se relacionará con instrumento, fecha y magnitudes pertinentes. Se registrarán verificaciones de campo y condición de accesorios. Tener un certificado no demuestra por sí solo que el montaje de cada ensayo fue correcto; esa evidencia debe conservarse también.

Los resultados editados o reinterpretados no reemplazarán silenciosamente al original. La nueva versión identificará herramienta, cambios y responsable. Puede emplearse una suma criptográfica como control de integridad del archivo; no demuestra que la medición original fuera técnicamente válida.

Tabla 55.1. Conservar originales montaje y estado metrológico

Registro	Contenido mínimo	Relación que debe conservar
Prueba	Objeto, método, fecha y montaje.	Requisito y archivo original.
Resultado	Valores, unidades, límites y validez.	Configuración ensayada.
No conformidad	Desviación, impacto y responsable.	Corrección y repetición.
Acta	Alcance aceptado y excepciones.	Versión de expediente y firmas.
Cambio posterior	Intervención y activos afectados.	Nueva línea base y pruebas.

55.3 Revisar resultados antes de firmar

La revisión comprobará cantidad esperada y recibida de fibras, direcciones, longitudes de onda, clases y estados de ruta. Un archivo no equivale necesariamente a una prueba: puede contener varios resultados. La cobertura se contará por requisito verificable y se conciliará con el inventario.

Se buscarán identificadores repetidos, límites equivocados, intervalos inválidos, cambios de referencia y resultados que no correspondan a la configuración final. Las fórmulas y unidades tendrán revisión técnica. Una aprobación automática del instrumento debe interpretarse bajo el perfil que realmente ejecutó.

El revisor separará incumplimiento del objeto, limitación de medición y falta documental. Cada caso tiene una acción distinta: reparar, repetir con un método adecuado o completar evidencia. Agrupar todo como observación menor puede ocultar una incapacidad real de entregar el servicio.

55.4 Gestionar pendientes y aceptación condicionada

Una no conformidad identificará requisito, evidencia, consecuencia, responsable y fecha propuesta. La corrección tendrá verificación y cierre. Las excepciones explicitarán alcance y duración; no deben modificar retroactivamente el límite para hacer desaparecer un incumplimiento.

Si las partes usan una recepción condicionada, el acta indicará qué puede operar, qué restricciones existen y qué falta para el cierre. El responsable contractual verificará sus consecuencias dentro del acuerdo aplicable. Este capítulo propone organización técnica y no sustituye la revisión específica del contrato.

La entrega incluirá contactos, mantenimiento, repuestos y procedimientos de recuperación. La fecha de inicio operativo, el hito comercial y la firma técnica pueden ser distintos; deben registrarse sin confundir sus efectos.

55.5 Mantener la línea base después de la entrega

Cada reparación, traslado o cambio de modo se vinculará con los documentos afectados. La nueva línea base mantendrá las versiones anteriores y el motivo del cambio. El inventario deberá indicar cuál es la versión vigente y qué resultado la sustenta.

En un caso ficticio se reciben 384 resultados de pérdida, pero 24 corresponden a fibras duplicadas y otras 24 carecen de medición. El total aparenta cobertura completa. La matriz por fibra, sentido y longitud de onda descubre el defecto y permite pedir exactamente la evidencia faltante.

Después de completar y revisar los ensayos, el acta identifica la versión definitiva. El expediente resulta útil para mantenimiento porque permite comparar un evento futuro con el recorrido y el montaje de referencia, sin reconstruir la historia desde correos dispersos.

55.6 Conciliación de evidencia y cierre de no conformidades

La entrega del caso utiliza REQ-R01 para capacidad, P-52 para el protocolo Ethernet e INF-52-R2 para el informe final. El acta FARO-ACT-02 relaciona estos documentos con la configuración instalada. El mismo criterio se aplica a fibra, dispersión, aplicación y contingencia. La trazabilidad permite revisar una decisión sin depender de la persona que ejecutó el ensayo.

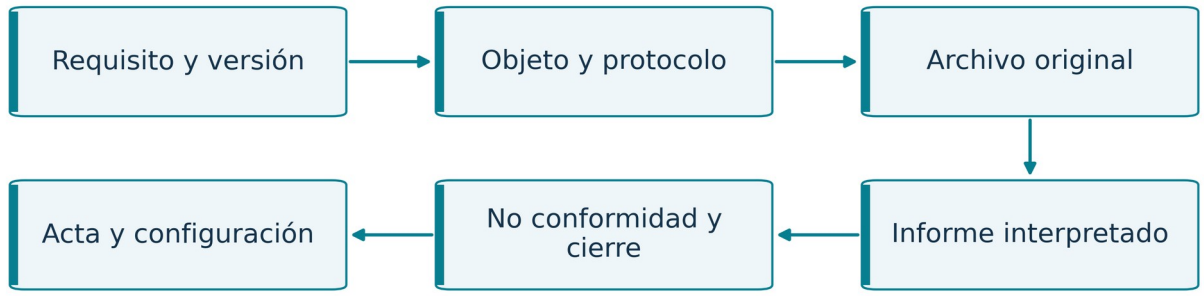


Figura 55.2. Cadena documental del expediente. Cada vínculo conserva objeto y versión. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

1. Construir el inventario de requisitos y resultados esperados, con identificadores únicos. Separar la cobertura prevista de la evidencia recibida.
2. Validar los archivos: legibilidad, identidad, unidades, instrumentos, ventanas y configuración. Clasificar ausencias y resultados inválidos antes de calcular cumplimiento.
3. Resolver duplicados y contradicciones mediante su origen y versión. No elegir automáticamente la cifra más favorable.
4. Relacionar cada no conformidad con acción, responsable, fecha y ensayo de repetición. Mantener el resultado previo junto al posterior.
5. Emitir un resumen de aceptación por requisito y escenario. Identificar reservas o restricciones y quién tiene autoridad para aceptarlas.
6. Transferir originales, planos, configuración, accesos y procedimientos a operación; demostrar que puede localizar y utilizar esos documentos.

Tabla 55.2. Conciliación de evidencia y cierre de no conformidades

Elemento del ejemplo	Estado inicial	Cierre documentado
TR-B-E02 fibra 37	Cuatro observaciones indeterminadas	Nueva preparación y cuatro medidas conformes
TR-B-E02 fibra 88	Cuatro observaciones no conformes	Corrección y repetición del alcance
Clases Ethernet C1 y C2	Máximo de retardo fuera del límite de proyecto	Clasificación corregida y serie simultánea repetida
Serie IP A bajo carga	Cuatro sondas ausentes	Investigación y repetición del periodo con criterio de pérdida
Configuración de cierre	Resultados de estados distintos	Versión R2 conciliada con la entrega física

55.7 Proteger el original y conservar acceso operativo

El kit incorpora un manifiesto de integridad de sus archivos. Una suma SHA-256 permite detectar cambios en bytes respecto del manifiesto; no demuestra que un instrumento midiera correctamente ni que el alcance estuviera completo. Los originales de un proyecto real deben mantenerse bajo permisos, conservación y respaldo acordados, con capacidad de restauración durante una incidencia.

55.8 Ejercicio de firma con respuesta

El informe tiene todos sus campos cumplimentados, pero la prueba de contingencia sigue sin ejecutar. El requisito permanece pendiente. La firma puede aceptar un alcance restringido si existe autoridad y condición explícita; no debe presentar la entrega completa como probada. La lista de exclusiones pertenece a la decisión y al servicio que puede operar.

55.9 Laboratorio 55 emitir un acta parcial coherente con los datos

Objetivo y entrega. Conciliar expediente, cobertura y requisitos para producir un acta que refleje el estado real del ejercicio. Se conservan resultados iniciales y finales.

Montaje y condiciones. Inventario de pruebas, resultados del kit, ficha de requisitos y formulario de aceptación. No se utilizan firmas de personas reales. El modo analítico calcula estados; una recepción de proyecto requiere la autoridad y las condiciones contractuales correspondientes.

Material de análisis. resultados_resumen.json, olts_final.csv, latencia_series.csv El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 55.

1. Conciliar claves, versiones, estados y relación de cada resultado con un requisito.
2. Cerrar únicamente los alcances comprobados: cobertura óptica final y ensayo Ethernet descrito.
3. Registrar pérdida IP A bajo carga, P-17, PEN-02 y recuperación de identidad como reservas explícitas con acción de cierre.
4. Distinguir aceptación técnica parcial, autorización de uso y efectos comerciales conforme al acuerdo.

Resultado y criterio de cierre. El acta FARO-ACT-02 conserva aceptación parcial. IP A tiene cuatro pérdidas en 9000 secuencias, equivalentes a 0,04444 %, frente a un máximo de 0,01 %. Falta

repetición favorable; el conjunto no contiene evidencia que permita cerrarla. Las reservas de diversidad e identidad también continúan abiertas.

Desafío de nivel avanzado. Un resumen ejecutivo dice todo conforme, pero sus anexos conservan una pérdida IP incumplida. ¿Qué debe corregirse?

Orientación de respuesta. Se corrige la decisión y se identifica el alcance pendiente. Los anexos favorables de otras disciplinas no compensan un requisito incumplido.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

Entrega del capítulo. Acta parcial o total con sustentos y acciones de cierre.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Cada requisito conduce a una evidencia concreta?
2. ¿Se conservaron los archivos originales?
3. ¿La cantidad de resultados coincide con la cobertura real?
4. ¿Qué versión representa el estado instalado?

Parte 10 Desempeño extremo a extremo

El desempeño útil depende de la red y de los extremos. La instrumentación y las pruebas de carga permiten estudiar retardo, variación, pérdida, congestión y trabajo completado.

Capítulo 56 Latencia y variación del retardo

Al terminar este capítulo, el lector podrá Calcular retardo variación percentiles y pérdida sin mezclar poblaciones.

Términos esenciales. RTT = tiempo de ida y vuelta; IPDV = diferencia de retardos bajo una definición.

La latencia expresa cuánto tarda una comunicación bajo un alcance y método definidos. Su variación describe cambios entre observaciones; la palabra jitter necesita una definición concreta. Para comparar carriers o aceptar una ruta deben quedar claros puntos, dirección, relojes, tamaño de paquete, carga y estadística.

56.1 Separar un sentido de ida y vuelta

El retardo unidireccional requiere comparar marcas temporales de origen y destino. El desfase y la deriva de los relojes introducen error. El plan debe indicar sincronización, lugar de timestamp y su incertidumbre, además de las condiciones de red. RFC 7679 desarrolla estas precauciones para medidas IP. [10]

RTT mide una ida y una vuelta con procesamiento de respuesta incluido según el método. No necesita que ambos relojes compartan origen para una medición local básica, pero sí conocer dónde comienza y termina. Dividir RTT por dos no demuestra el retardo de cada sentido: las rutas y colas pueden ser asimétricas.

La marca temporal en software puede incluir espera del sistema operativo, colas de NIC y procesamiento del host. Una marca en hardware reduce ciertos componentes, pero tiene su propio alcance. Las dos implementaciones no deben compararse sin explicar la diferencia.

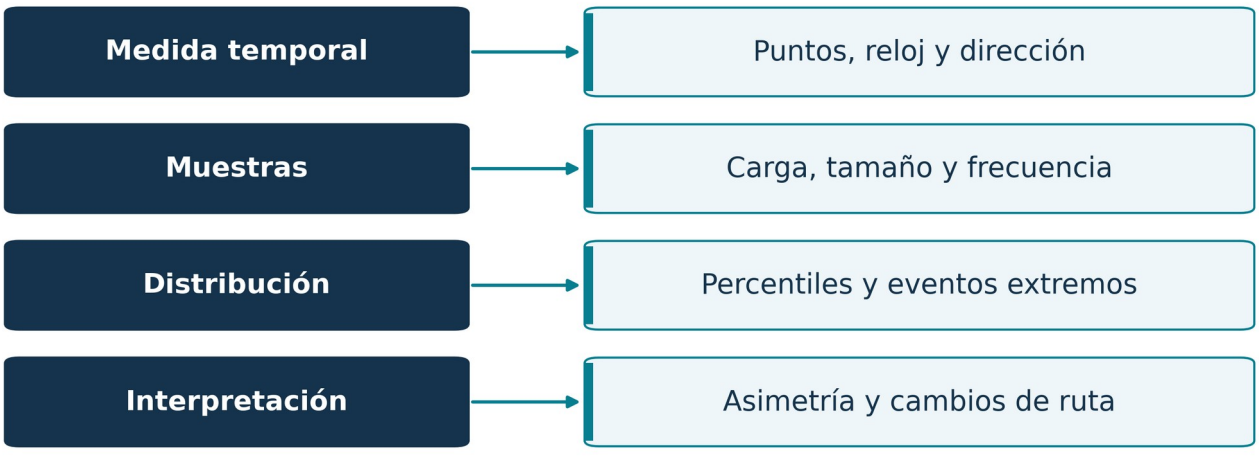


Figura 56.1. De la muestra a la interpretación temporal. La distribución depende de montaje y condiciones. Elaboración propia.

56.2 Reconocer componentes del retardo

Propagación, serialización, procesamiento y espera contribuyen al tiempo observado. La propagación se relaciona con recorrido físico y velocidad en el medio; la serialización depende de tamaño y tasa. Los túneles, equipos y colas añaden componentes que una distancia geográfica directa no representa.

Como aproximación didáctica, una fibra con velocidad de propagación de 200 000 km/s introduce unos 5 microsegundos por kilómetro en un sentido. Un recorrido óptico real de 10 000 km aporta alrededor de 50 ms de propagación, antes de otros componentes. No es una predicción de RTT entre ciudades ni identifica el cable utilizado.

El retardo mínimo observado puede orientar sobre la condición menos congestionada de esa muestra, pero sigue incluyendo componentes de equipo. Un cambio escalonado puede motivar revisión de ruta; por sí solo no identifica qué ducto o sistema submarino cambió.

56.3 Definir variación y percentiles

RFC 5481 explica distintas formulaciones de variación, entre ellas diferencias entre paquetes seleccionados y variación respecto de una referencia de retardo. El protocolo debe indicar cuál calcula, cómo selecciona pares y qué estadística reporta. Un jitter medio sin esa información puede ser incomparable. [11]

Se conservarán número de muestras, mínimo, mediana, percentiles relevantes y máximo. Un p99 es un valor asociado al percentil 99 bajo un método de cálculo concreto; no describe necesariamente el peor evento. Con pocas observaciones, los percentiles altos resultan poco estables y deben interpretarse con cautela.

Los percentiles no se suman directamente para obtener el percentil del recorrido completo. Tampoco debe promediarse el p99 de ventanas y llamarlo p99 global sin justificar la operación. Para recomponer distribuciones se necesitan datos o histogramas con granularidad suficiente.

Tabla 56.1. Definir variación y percentiles

Decisión de montaje	Dato que se registra	Motivo
Tiempo	Un sentido o RTT y puntos exactos.	Evitar dividir asimetrías.
Reloj	Fuente, estado y error pertinente.	Reconocer validez unidireccional.
Muestreo	Frecuencia, duración y patrón.	Conocer eventos que puede observar.
Paquete	Tamaño, protocolo, marcas y destino.	Relacionar tratamiento de red.
Carga	Reposo, concurrencia y protección.	Comparar condiciones equivalentes.

56.4 Muestrear carga pérdida y cambios de estado

Una sonda por minuto puede perder una microinterrupción entre muestras. Aumentar frecuencia mejora resolución temporal, pero añade carga y no garantiza observar todos los eventos. El diseño debe corresponder al fenómeno y al límite que se quiere evaluar.

Los paquetes ausentes requieren tratamiento explícito: umbral de espera, pérdida y llegadas tardías. Calcular latencia solamente sobre respuestas recibidas puede presentar una distribución favorable mientras empeora la pérdida. Se reportarán ambas dimensiones sin sustituir una por otra.

Se compararán reposo y carga representativa, ambas direcciones y ruta alternativa. Las medidas de sincronización deberán continuar durante conmutación cuando se necesiten. Si el reloj pierde referencia, el período quedará marcado y no se interpretará automáticamente como cambio de red.

56.5 Caso de un p99 favorable con interrupción

En un caso ficticio una ruta presenta p99 de RTT dentro del límite durante una hora, pero una falla breve pierde varias sondas. El resumen excluye las ausentes y no muestra indisponibilidad. El equipo revisa secuencias y descubre un evento que la estadística de respuestas no describe.

El protocolo se corrige para reportar pérdida, duración y continuidad junto con la distribución temporal. El acta conserva alcance de la métrica y evidencia de protección. La aceptación deja de depender de un número aislado.

56.6 Medir una población y reconstruir sus resultados

latencia_series.csv contiene cuatro series simuladas: rutas A y B, en reposo y bajo carga. Cada serie tiene 9000 sondas separadas 0,1 s en una ventana nominal de 900 s. Las columnas conservan secuencia, instante, retardo unidireccional, RTT, ausencia y U de reloj de 20 microsegundos. Un campo vacío representa una sonda perdida, nunca un retardo cero.

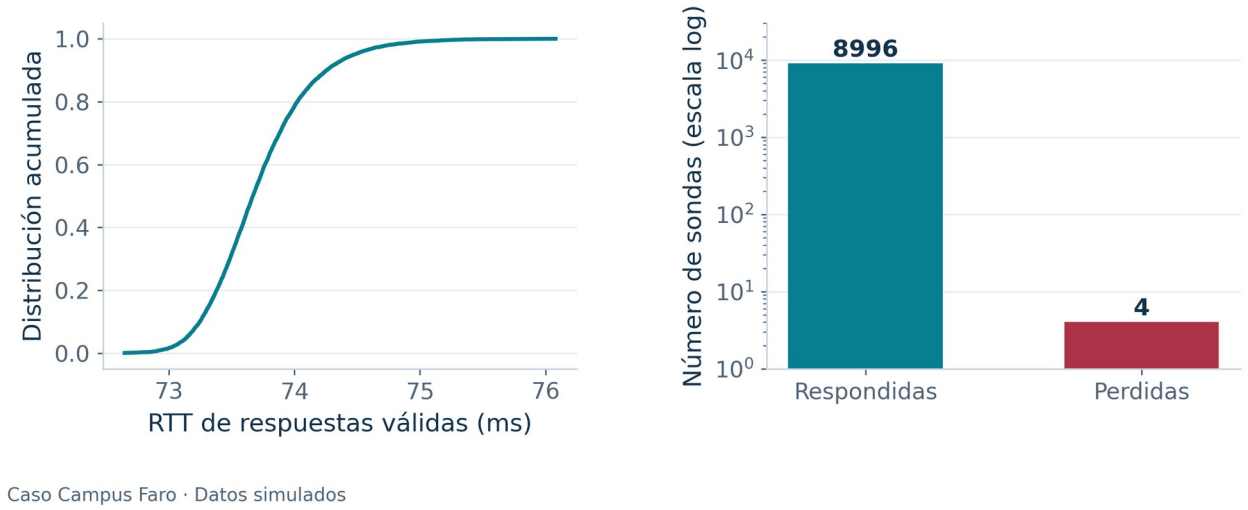


Figura 56.2. Distribución de respuestas válidas y recuento separado de pérdidas para A bajo carga. Son poblaciones relacionadas y distintas. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

El taller calcula percentiles mediante interpolación lineal sobre las respuestas válidas, declarando ese método. En A bajo carga se obtienen aproximadamente p50 = 73,67 ms, p95 = 74,48 ms y p99 = 74,96 ms de RTT. B bajo carga presenta p99 = 86,96 ms. Los objetivos de proyecto son 90 y 105 ms, respectivamente. El resultado temporal de ambas series queda dentro de esos objetivos, pero la serie A conserva cuatro sondas ausentes.

56.7 Tratar pérdida y variación sin ocultar eventos

Cuatro pérdidas entre 9000 envíos representan 0,0004444, o aproximadamente 0,04444 %. Frente al límite IP ilustrativo de 0,0001, esa serie incumple el criterio de pérdida del taller aunque su p99 de RTT cumpla. Este cociente es de sondas IP y no se sustituye por el FLR de otra prueba Ethernet. La ausencia se analiza antes de atribuir una causa o cerrar el requisito.

1. Definir puntos, dirección, fuente de tiempo, tamaño y tratamiento del tráfico. Verificar el estado del reloj durante toda la ventana.
2. Guardar cada observación con secuencia. Marcar pérdidas y periodos de medición inválidos de forma separada.
3. Calcular mínimo y percentiles con población y algoritmo declarados. Mantener el recuento de envíos y respuestas junto al resumen.
4. Para el IPDV del taller, calcular la diferencia entre retardos unidireccionales de sondas consecutivas válidas; informar el percentil del valor absoluto y excluir los pares que incluyen una pérdida.
5. Investigar la secuencia temporal de las ausencias y repetir después de una corrección identificada. No reconstruir una interrupción precisa por simple multiplicación del número de sondas perdidas.

Las pérdidas consecutivas del ejemplo están entre 450,0 y 450,3 s. Con este muestreo no se conoce con exactitud el inicio y final del evento que las produjo. Medir una conmutación de pocos milisegundos exige otra resolución y un método capaz de observarla. Las referencias IPPM desarrollan los requisitos de temporalidad y definición de variación. [10, 11]

56.8 Ejercicio de agregación con respuesta

Dos ventanas tienen p99 de 74 y 90 ms y contienen cantidades distintas de muestras. Su media, 82 ms, no es el p99 global. Para calcularlo se reúnen las observaciones válidas o una representación de distribución suficiente y se vuelve a aplicar el algoritmo sobre la población conjunta, conservando también sus pérdidas y estados de carga.

56.9 Interpretar continuidad y latencia en un incidente público

RIPE Labs analizó mediciones de su malla de anchors alrededor de los cortes bálticos del 17 y 18 de noviembre de 2024. El informe preliminar, publicado el 20 de noviembre, observó incrementos de latencia en aproximadamente 20–30 % de los caminos medidos y no encontró indicios de mayor pérdida en esos datos. Los autores limitaron expresamente su conclusión a lo observado y no pudieron identificar directamente qué caminos atravesaban los cables afectados. [221]

La lección para una aceptación es formular dos preguntas separadas: si la función sigue disponible y qué régimen de retardo y pérdida conserva. La observación de una población externa no sustituye la prueba de los servicios de un cliente. Se registra ventana, puntos de observación y población antes de extrapolar cualquier conclusión.

56.10 Laboratorio 56 calcular percentiles y pérdida por separado

Objetivo y entrega. Reconstruir estadísticas sobre respuestas válidas sin ocultar secuencias ausentes. La variación se define con pares consecutivos válidos de retardo unidireccional.

Montaje y condiciones. Generadores o sondas en extremos identificados y relojes con error conocido para medidas de un sentido. El archivo contiene rutas A/B, reposo/carga y 9000 secuencias por serie, a 0,1 s en una ventana nominal de 900 s. U de reloj del ejercicio es 20 µs.

Material de análisis. latencia_series.csv El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 56.

1. Separar ruta y estado y contar enviadas, respuestas válidas y ausentes antes de calcular tiempos.
2. Aplicar interpolación lineal sobre RTT válidos: posición (n−1)p en la serie ordenada e interpolación entre sus dos observaciones vecinas. Conservar el método.
3. Calcular diferencias de retardo unidireccional solo cuando ambas secuencias consecutivas están presentes; obtener p95 del valor absoluto.
4. Comparar RTT y pérdida con sus límites independientes. Mantener indeterminado el tiempo exacto de interrupción entre sondas.

Resultado y criterio de cierre. La serie A bajo carga tiene cuatro ausencias y pérdida 4/9000 = 0,00044444. El p99 favorable de RTT no cierra ese incumplimiento de pérdida. Las muestras de 10 Hz no prueban una duración exacta de interrupción de 400 ms ni caracterizan una conmutación de pocos milisegundos.

Desafío de nivel avanzado. ¿Puede introducirse RTT = 0 en las cuatro ausencias para conservar 9000 números?

Orientación de respuesta. Se conserva el estado de pérdida fuera de la población de retardos válidos. Un cero introduciría un valor temporal que nunca fue observado.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

Entrega del capítulo. Estadística reproducible con secuencias ausentes separadas.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Se conoce la incertidumbre del reloj?
2. ¿Jitter tiene una definición reproducible?
3. ¿Las pérdidas están incluidas como evidencia separada?
4. ¿Los percentiles corresponden al conjunto informado?

Capítulo 57 Throughput y goodput

Al terminar este capítulo, el lector podrá Relacionar tasa útil RTT ventana y límites de los extremos.

Términos esenciales. Goodput = datos útiles recibidos y validados por tiempo; BDP = producto de tasa y RTT.

La capacidad contratada, el throughput medido y el goodput de aplicación describen cantidades distintas. La prueba debe elegir protocolo, extremos y capa de conteo antes de interpretar una cifra. Un carrier puede cumplir su entrega y un servidor seguir limitado por ventana TCP, CPU, almacenamiento o configuración.

57.1 Definir qué bytes se cuentan

Throughput requiere indicar la capa y el intervalo de medida. Goodput suele reservarse para datos útiles entregados a la aplicación, excluyendo cabeceras y retransmisiones según la definición elegida. El informe debe explicitarla para evitar comparar cifras incompatibles.

TCP ofrece transporte fiable y adapta su envío según control de congestión y recepción. UDP permite construir una carga ofrecida y observar recepción y pérdida sin atribuirle el mismo mecanismo de fiabilidad. Una tasa UDP transmitida no demuestra que el destino recibió esa cantidad.

La prueba separará capacidad de interfaz, perfil de servicio, transporte y operación de aplicación. Se conservarán unidad decimal o binaria, bytes o bits y duración efectiva. Un archivo de 100 GB y uno de 100 GiB no representan el mismo volumen.

57.2 Calcular el producto capacidad retardo

El producto capacidad retardo aproxima el volumen que debe permanecer en vuelo para ocupar un camino bajo condiciones simplificadas: $BDP = C \times RTT$. Con C en bit/s y RTT en segundos, el resultado queda en bits. Dividir por ocho permite expresarlo en bytes.

En un ejemplo original, 10 Gb/s y RTT de 80 ms producen 800 megabits, equivalentes a 100 MB decimales. El cálculo orienta el análisis de ventanas y buffers; no es una orden para asignar esa memoria indiscriminadamente a todos los sockets.

Una cota simplificada limitada por ventana es $R \leq \frac{W}{RTT}$, con W en bytes y R en bytes/s. Una ventana efectiva de 16 MB con 80 ms limita aproximadamente a 200 MB/s, o 1,6 Gb/s, aun con capacidad física de 10 Gb/s. Se omiten aquí pérdidas y otros límites para aislar el mecanismo.

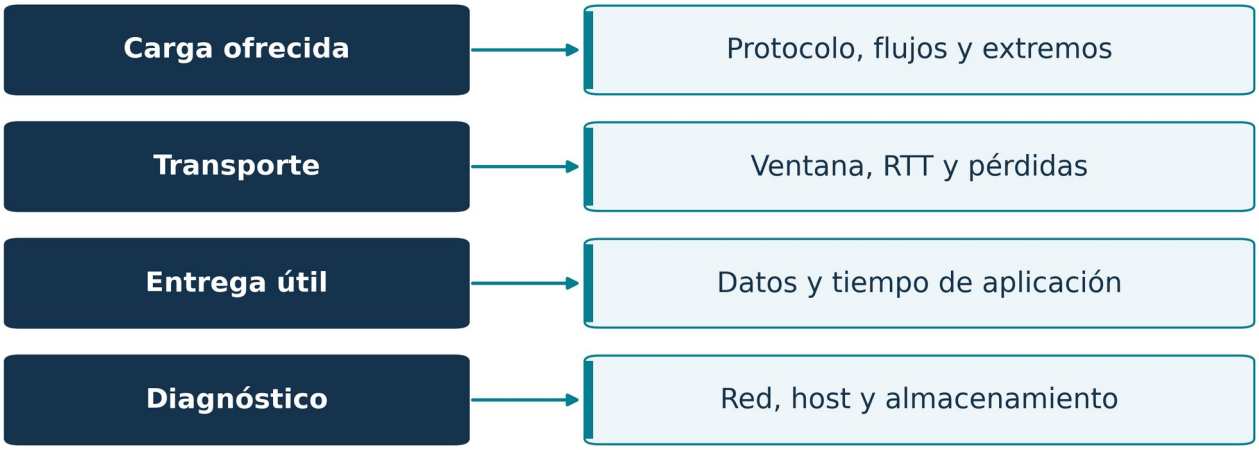


Figura 57.1. Carga, transporte y entrega útil. El diagnóstico relaciona red y extremos. Elaboración propia.

57.3 Preparar extremos y protocolo TCP

Montaje o lámina de apoyo: figura M.18. La leyenda conserva el alcance y las comprobaciones del ejemplo.

RFC 6349 presenta un marco informativo de pruebas TCP que considera MTU del camino, RTT, capacidad del cuello de botella y parámetros TCP. Su aplicación necesita una red y condiciones compatibles con el objetivo. No convierte una prueba de aplicación en garantía universal sobre internet. [8]

Se registrarán sistema operativo, herramienta y versión, NIC y velocidad, CPU, afinidad cuando proceda, descargas, número de flujos y dirección. La prueba inicial puede usar memoria para separar disco de red; después debe medirse la transferencia real si forma parte del requisito.

La ventana anunciada, ventana de congestión y buffers deben observarse sin suponer que un único ajuste explica todo. También se revisarán retransmisiones, pérdidas, reordenamiento y pausas. Un crecimiento de retransmisiones necesita correlación con capturas y contadores, no una atribución automática al cable.

Tabla 57.1. Preparar extremos y protocolo TCP

Ensayo	Qué permite observar	Límite
TCP de un flujo	Prestación de una sesión.	Puede limitar ventana o un núcleo.
TCP de varios flujos	Capacidad agregada y distribución.	No demuestra igual rendimiento por sesión.
UDP controlado	Recepción, pérdida y tasa ofrecida.	No representa fiabilidad de TCP.
Archivo real	Tiempo y datos útiles de operación.	Incluye discos, cifrado y aplicación.

57.4 Ensayar tamaños, flujos y simultaneidad

Se medirá un flujo y varios cuando el uso lo requiera. La agregación puede distribuir tráfico en ECMP o LAG y aprovechar recursos adicionales; una sesión puede seguir asignada a un camino. El resultado debe conservar número de sesiones y distribución.

La MTU del camino se verificará incluyendo túneles y controles de fragmentación aplicables. Un paquete pequeño puede funcionar donde una transferencia grande se estanca. El diagnóstico debe observar la señalización de tamaño y las políticas que la filtran.

Las pruebas incluirán ambos sentidos y concurrencia representativa. Se acordarán rampa, calentamiento e intervalo de medición. Un pico breve no representa rendimiento sostenido; un promedio muy largo puede ocultar pausas que afectan la operación.

57.5 Caso de un circuito correcto y un destino lento

Un ejemplo ficticio obtiene 9 Gb/s entre generadores y apenas 2 Gb/s al copiar datos a un servidor. El expediente confirma cumplimiento de red, pero la prueba real muestra CPU saturada por cifrado y almacenamiento incapaz de sostener escritura. Cambiar la fibra no resuelve esos límites.

El equipo ejecuta pruebas escalonadas: memoria a memoria, transferencia cifrada y escritura persistente. Conserva uso de recursos y tiempos. La decisión asigna las mejoras a cada componente y mantiene un requisito de goodput de la operación completa.

57.6 Resolver la cota de una sesión TCP

Para una capacidad de referencia de 40 Gb/s y un RTT de 80 ms, el producto capacidad retardo es 3200 megabits, equivalentes a 400 MB decimales. Una ventana efectiva de 16 MB limita la cota simplificada a 1,6 Gb/s; 64 MB dan 6,4 Gb/s y 256 MB dan 25,6 Gb/s. Alcanzar el régimen próximo a la capacidad requiere revisar ventana, congestión y extremos, además de la red. [8]

$$BDP = \frac{R \cdot RTT}{8}; R_{ventana} \leq \frac{8\ W}{RTT}$$

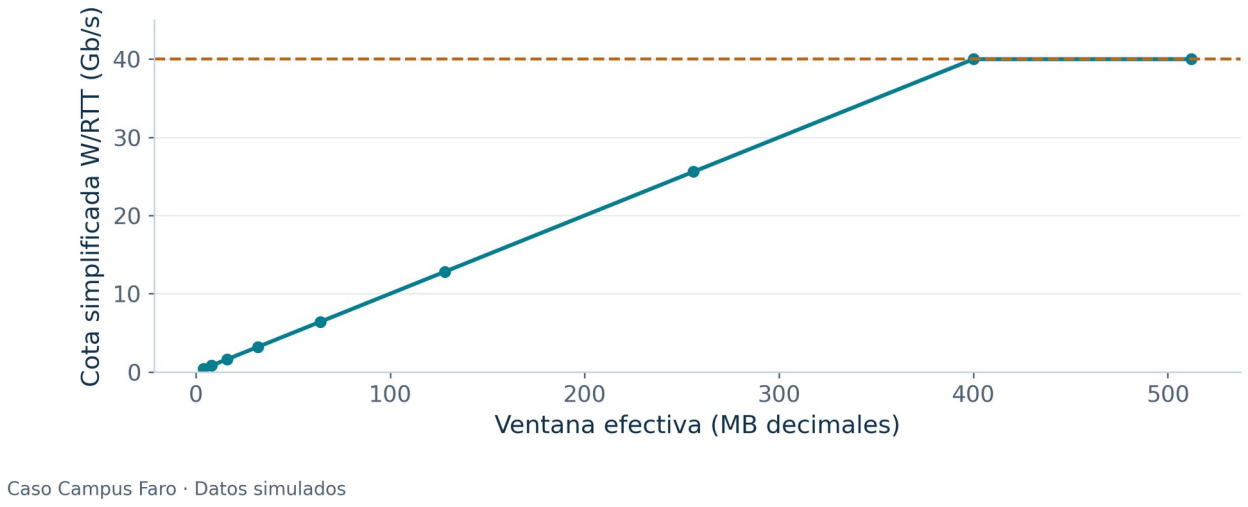


Figura 57.2. Cota simplificada por ventana y RTT. El límite de 40 Gb/s no descuenta todas las sobrecargas ni representa una predicción de goodput. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

La capacidad del ejemplo se cuenta en una capa declarada. Si un cálculo de comparación cuenta 1522 bytes de trama Ethernet etiquetada por 1460 bytes de datos TCP, la proporción de datos útiles sería 1460/1522. Aplicarla a 40 Gb/s da unos 38,37 Gb/s antes de otras contribuciones, ACK, retransmisiones y limitaciones. La convención exacta del servicio debe comprobarse; no se intercambia una tasa de línea con datos útiles.

57.7 Procedimiento para separar red y extremos

1. Validar primero el servicio entre generadores compatibles y comprobar MTU y alcance. Registrar tasa y pérdidas por la convención adoptada.
2. Preparar hosts con NIC, CPU, memoria, controladores, afinidad y sistema de medida conocidos. Confirmar que el receptor no limita el ensayo.
3. Ejecutar una sesión y después varias, conservando ventana efectiva, RTT, retransmisiones y carga de recursos.
4. Comparar una transferencia a memoria con la operación que añade cifrado y almacenamiento persistente. Mantener idénticos extremos y alcance cuando se atribuye una diferencia.
5. Repetir bajo carga y contingencia definidas. Informar la variación temporal y el trabajo terminado, además del máximo observado.

Tabla 57.2. Procedimiento para separar red y extremos

Ensayo didáctico	Resultado	Interpretación inicial
Generadores de servicio	Perfil Ethernet conforme	Existe evidencia del alcance entre UNI
TCP con ventana de 16 MB y RTT 80 ms	Cota 1,6 Gb/s	La sesión puede limitar antes del circuito
Varias sesiones	Más tasa agregada	Puede distribuir límites de ventana y recursos
Copia persistente más lenta	Disco o cifrado saturados en el ejemplo	La investigación continúa en los extremos

57.8 Ejercicio de copia con respuesta

Una operación debe transferir 2 TB decimales en una hora. La tasa útil media necesaria es $2 \times 10^{12} \times 8 / 3600$, aproximadamente 4,44 Gb/s. Esta es una necesidad de aplicación; hay que añadir el efecto de sobrecargas, periodos no productivos y competencia. Una sesión limitada a 1,6 Gb/s por la condición del ejemplo no cumple esa ventana aunque el servicio tenga CIR de 40 Gb/s.

57.9 Laboratorio 57 comparar ventana TCP con la tasa útil recibida

Objetivo y entrega. Calcular BDP y cota de ventana y preparar una comparación entre una sesión, varias sesiones y una operación de aplicación.

Montaje y condiciones. Modo analítico de 40 Gb/s y RTT 80 ms, con MB decimales. La extensión física utiliza dos hosts de laboratorio suficientemente capaces, versiones de iperf3 registradas y monitorización de CPU/NIC. Los ejemplos de comandos del kit usan documentación ESnet y no generan tráfico sobre servicios de terceros. [224]

Material de análisis. tcp_ventana.csv El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 57.

1. Calcular BDP = tasa × RTT / 8 y registrar unidades.
2. Calcular cota ideal 8W/RTT para ventanas de 16, 64 y 256 MB. No tratarla como predicción exacta de goodput.
3. En el laboratorio de hosts, conservar una sesión y después varias con carga total declarada, incluyendo sentido inverso y salida del receptor.
4. Comparar retransmisiones y CPU y añadir una operación con contenido verificable. Conservar datos recibidos y validados.

Resultado y criterio de cierre. BDP = 400 MB. Las cotas de ventana son 1,6, 6,4 y 25,6 Gb/s. Un agregado mayor que una sesión puede revelar límites de sesión o reparto; no satisface automáticamente un requisito referido a una única transferencia. La sobrecarga de protocolos se cuenta en un plano declarado.

Desafío de nivel avanzado. Cuatro flujos mejoran la suma, pero el archivo crítico utiliza una sola sesión. ¿Se cierra el objetivo del archivo?

Orientación de respuesta. Se debe demostrar la función y el patrón exigidos al archivo. El agregado de cuatro flujos representa otro objeto de prueba.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

57.10 Ruta de diagnóstico a partir de evidencia válida

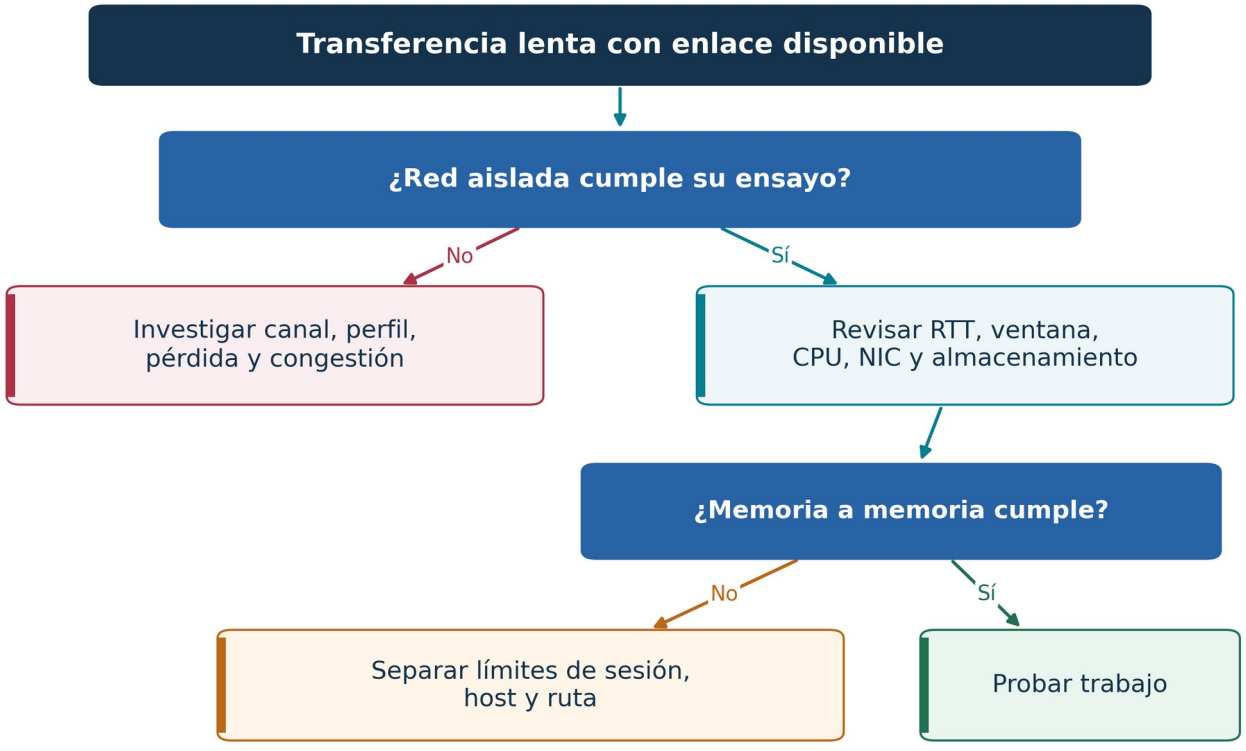


Figura 57.3. Transferencia lenta con enlace disponible. Elaboración propia; esquema didáctico.

Cada rama indica la siguiente comprobación dentro del alcance del capítulo. Registrar el dato que motiva el cambio de rama y conservar las hipótesis no resueltas. Si el montaje o el dato son inválidos, corregir esa condición antes de emitir una decisión sobre la instalación.

Entrega del capítulo. Comparación de sesión agregado y operación de aplicación.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La cifra cuenta tráfico enviado o recibido?
2. ¿Ventanas y RTT explican una cota?
3. ¿Varios flujos ocultan una sesión insuficiente?
4. ¿Se midió la persistencia si era necesaria?

Capítulo 58 Congestión y calidad de servicio

Al terminar este capítulo, el lector podrá Investigar colas ráfagas y competencia entre clases.

Términos esenciales. Microburst = ráfaga breve de tráfico; ECN = señalización explícita de congestión.

La congestión aparece cuando la demanda de un recurso supera su capacidad de atención durante un intervalo. Puede existir aunque el promedio de utilización parezca bajo. Las pruebas deben observar concurrencia, colas y ráfagas a una escala temporal útil, además de comprobar cómo las políticas reparten el recurso.

58.1 Relacionar sobresuscripción y demanda

La sobresuscripción compara capacidades agregadas según el diseño, pero la congestión depende de qué destinos y recursos comparten los flujos. Un conjunto de puertos puede tener capacidad suficiente en total y concentrar tráfico en una sola salida o enlace de retorno.

La pérdida de un uplink modifica la relación disponible. Se dimensionará el tráfico crítico durante la contingencia y se decidirá qué carga se reduce o desplaza. Una arquitectura redundante no garantiza por sí sola que la capacidad residual cumpla el objetivo.

El ensayo reproducirá patrones relevantes: varios emisores hacia un destino, tráfico entre racks, copias masivas y servicios sensibles simultáneos. Deben distinguirse límites de red de la velocidad a la que el destino puede consumir.

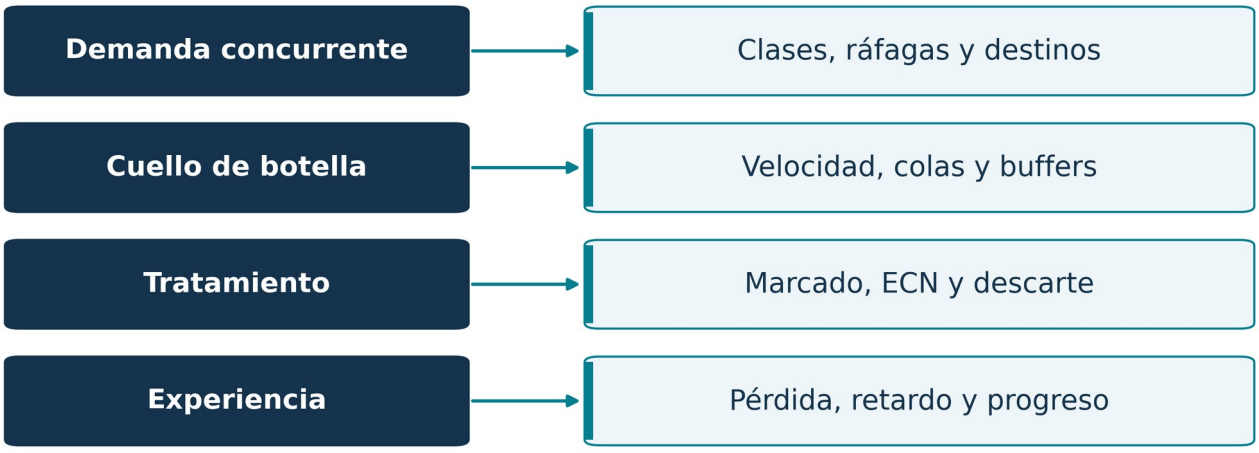


Figura 58.1. Del patrón de demanda a la experiencia del servicio. Las colas deben medirse bajo concurrencia. Elaboración propia.

58.2 Calcular una ráfaga y su espera

En un modelo simple con tasas constantes y cola inicialmente vacía, $Q = (R_{entrada} - R_{salida}) \times t$ mientras la entrada supera a la salida. El resultado es volumen acumulado; deben usarse unidades coherentes y considerar que el buffer real puede ser compartido.

Un exceso de 20 Gb/s durante 2 ms acumula 40 megabits, equivalentes a 5 MB decimales. Si la salida atiende a 100 Gb/s, esos 5 MB representan unos 0,4 ms de serialización de cola cuando están delante del paquete. Es un ejemplo idealizado, no una especificación de un switch.

La relación $T_{cola} = \frac{Q}{R_{salida}}$ ayuda a entender por qué más buffer puede aumentar espera. El comportamiento real depende de arquitectura, admisión, reparto de memoria y programación. La capacidad de buffer anunciada no debe asumirse disponible completa para cualquier puerto.

58.3 Probar clasificación y tratamiento

Se verificará cómo se clasifican VLAN, PCP, DSCP u otros campos adoptados. El marcado de origen puede cambiar al cruzar una demarcación. La matriz indicará confianza, remarcado, cola, límite y prioridad en cada punto relevante.

Una prioridad estricta necesita límites que eviten dejar sin progreso a otras clases conforme al diseño. Las garantías y pesos deben interpretarse bajo competencia real. Probar cada cola sola no muestra el reparto cuando todas solicitan servicio.

La gestión activa de colas puede señalar o descartar antes de agotar memoria para controlar congestión. RFC 7567 ofrece recomendaciones sobre AQM. ECN requiere capacidades y configuración coherentes de la red y los extremos; observar marcas no demuestra por sí solo que el emisor responde correctamente. [189]

Tabla 58.1. Probar clasificación y tratamiento

Patrón	Observaciones	Criterio del proyecto
Ráfaga breve	Ocupación máxima y descartes.	Buffer y pérdida admisibles.
Clases simultáneas	Retardo, tasa y progreso por clase.	Compromiso de cada servicio.
Incast	Destino, colas y reacción de emisores.	Carga y duración representativas.
Contingencia	Capacidad residual y prioridades.	Servicio crítico durante falla.

58.4 Observar con resolución suficiente

Los promedios de cinco minutos pueden ocultar microbursts. Se usarán contadores, histogramas o telemetría de colas con alcance y frecuencia conocidos. La medición debe distinguir valor instantáneo, máximo retenido y promedio del intervalo.

Se correlacionarán descartes de ingreso y egreso, marcas ECN, pausas cuando existan, tasa recibida y retardo de aplicación. Los contadores del host también pueden mostrar pérdidas por falta de procesamiento. Ninguna métrica aislada determina toda la causa.

El ensayo preservará parámetros y carga. Se cambiará una variable o un conjunto justificado por vez, comparando con la línea base. Aumentar buffers o prioridad sin medir la consecuencia puede desplazar el problema hacia latencia o hacia otra clase.

58.5 Caso de respaldo que afecta transacciones

En un ejemplo ficticio, una copia nocturna comparte una salida con consultas interactivas. El promedio del enlace es 35 %, pero ráfagas de varios emisores aumentan la cola y el p99 de consultas. La revisión conserva resolución temporal y detecta coincidencia entre ocupación y demora.

Se ajustan el control de envío y el tratamiento de clases conforme a los requisitos. La repetición comprueba tiempo de respaldo, transacciones y capacidad bajo falla de un enlace. La solución se acepta por sus efectos sobre ambos trabajos, no porque desaparezca una alarma aislada.

58.6 Calcular una ráfaga antes de configurar buffers

En el modelo fluido del taller llegan 120 Gb/s a una salida de 100 Gb/s durante 2 ms. El exceso de 20 Gb/s acumula 40 megabits, equivalentes a 5 MB decimales. A 100 Gb/s, transmitir ese volumen requiere 0,4 ms. El modelo parte de cola vacía y tasas constantes; no describe por sí solo un ASIC ni justifica reservar memoria sin revisar su arquitectura.

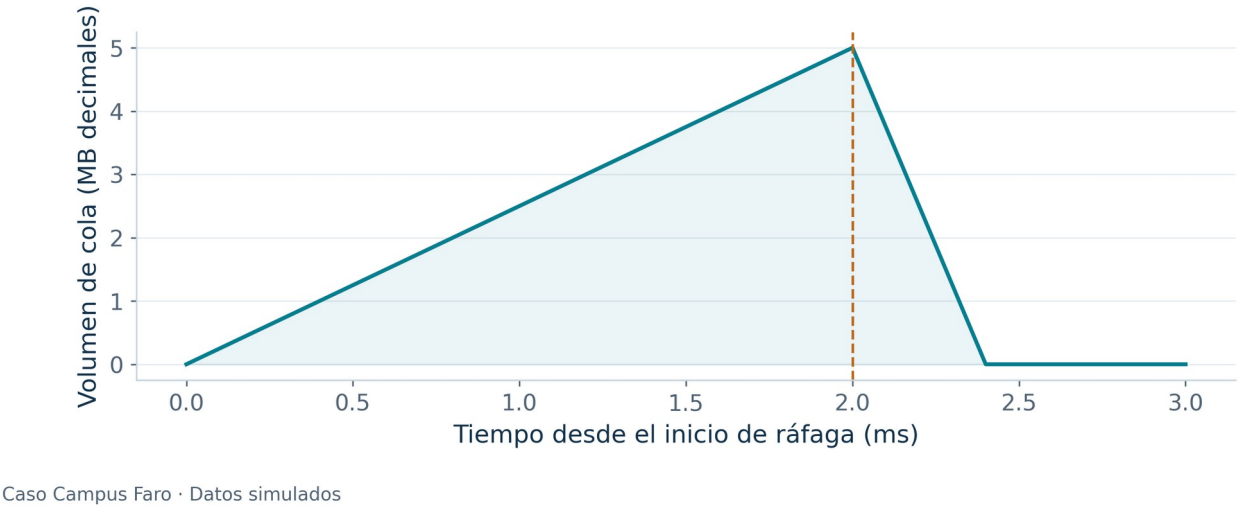


Figura 58.2. Acumulación y vaciado de una cola bajo el modelo didáctico. El archivo microburst_cola.csv permite repetir el cálculo. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

58.7 Prueba reproducible de calidad bajo competencia

1. Definir destinos, sentidos, tamaños, ráfagas y clases. Relacionar la mezcla con la demanda concurrente del cliente.
2. Verificar clasificación y recursos antes de aplicar la carga. Declarar el punto donde se cuentan marcas, colas y descartes.
3. Ejecutar la mezcla con resolución suficiente para el fenómeno. Un promedio de varios minutos no representa un pico de milisegundos.
4. Correlacionar ocupación, descartes, ECN cuando existe, tasa recibida y respuesta de las operaciones sensibles.
5. Repetir con el recurso superviviente del escenario de falla y comprobar que las prioridades conservan el progreso acordado.
6. Cambiar una variable o un conjunto justificado, repetir y conservar el efecto. Evitar trasladar el problema mediante una modificación no evaluada.

Tabla 58.2. Prueba reproducible de calidad bajo competencia

Patrón	Qué debe observarse	Resultado que no basta
Incast hacia un destino	Colas y progreso en el receptor común	Suma de tasas de enlaces dispersos
Ráfagas breves	Pico y duración con resolución útil	Promedio de utilización
Clases simultáneas	Tratamiento y retardo por clase	Tres pruebas aisladas conformes
Pérdida de un ascendente	Capacidad residual y competencia	Protocolo de control convergido

En el Campus Faro, los dos accesos de 40 Gb/s mantienen normalmente 16 Gb/s cada uno. Al trasladar toda la demanda, el acceso superviviente transporta 32 Gb/s. La ocupación nominal del compromiso es 80 %, pero ese porcentaje no demuestra por sí solo ausencia de congestión: importan distribución por clases, ráfagas y los otros servicios que comparten recursos.

58.8 Ejercicio de límite con respuesta

Una salida conserva 100 Gb/s, pero llegan 150 Gb/s durante 4 ms. El volumen adicional es 25 MB decimales. Si el recurso no puede absorber o tratar ese exceso, aparecerán descartes o control de congestión según el diseño. Duplicar la capacidad de otro enlace que no es el cuello de botella no elimina este patrón.

58.9 Laboratorio 58 reconstruir una cola transitoria

Objetivo y entrega. Relacionar exceso de llegada, acumulación y retardo con la resolución de observación. El alumno entrega un cálculo y la telemetría que necesitaría para contrastarlo.

Montaje y condiciones. Modelo fluido de entrada 120 Gb/s, salida 100 Gb/s y exceso durante 2 ms, con memoria suficiente. El CSV no contiene un ASIC ni descartes reales. En campo se requieren generadores y contadores o telemetría adecuados a esa escala temporal.

Material de análisis. microburst_cola.csv El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 58.

1. Calcular diferencia de tasa, convertir a bytes y multiplicar por duración.
2. Revisar el máximo de cola del archivo y calcular el tiempo de serialización correspondiente a 100 Gb/s.
3. Comparar la duración de la ráfaga con un promedio de utilización de un segundo y explicar la información que se pierde.
4. Diseñar observación por cola y clase y una prueba de concurrencia que pueda refutar la hipótesis de congestión.

Resultado y criterio de cierre. El máximo ideal es 5 MB y su serialización a 100 Gb/s tarda 0,40 ms. Si continúa llegando tráfico, el tiempo real de drenaje depende de la diferencia de tasas posterior. Un equipo con menos memoria disponible puede descartar antes de alcanzar la cola ideal del modelo.

Desafío de nivel avanzado. La utilización media es baja y una aplicación pierde paquetes. ¿Se descarta congestión?

Orientación de respuesta. Hay que revisar ráfagas, resolución de muestreo y colas. Un promedio bajo es compatible con saturaciones breves de una salida o de una clase.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

Entrega del capítulo. Cálculo de cola y plan de telemetría por clase.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La prueba reproduce destinos y ráfagas?
2. ¿Se observa el máximo de cola con resolución útil?
3. ¿Todas las clases mantienen el progreso acordado?
4. ¿La contingencia conserva capacidad suficiente?

Capítulo 59 Instrumentación y atribución de resultados

Al terminar este capítulo, el lector podrá Delimitar lo que observa cada instrumento o captura.

Términos esenciales. PCAP = formato de captura de paquetes; punto de observación = ubicación del dato medido.

La instrumentación determina qué puede afirmarse sobre el enlace. Una sonda activa, una captura y la supervisión del terminal observan cosas diferentes. El diagnóstico sólido combina esos puntos de vista y expresa sus límites, especialmente cuando pretende atribuir un deterioro a un tramo submarino o a un carrier.

59.1 Elegir sondas y reflectores por objetivo

OWAMP, definido en RFC 4656, permite medidas activas unidireccionales; TWAMP, en RFC 5357, incorpora medición de ida y vuelta. STAMP, RFC 8762, ofrece una arquitectura de emisor y reflector para métricas temporales y pérdida. Deben verificarse capacidades, opciones y compatibilidad de las implementaciones. [190, 191, 192]

La ficha identificará direcciones, puertos, protocolo, tamaño, marcas, tasa y punto de instalación. El reflector debe sostener la carga sin introducir una limitación desconocida. Las medidas de un sentido requieren un tratamiento del reloj compatible con la precisión exigida.

Una sonda en la red de gestión puede seguir otro camino que el tráfico del cliente. El ensayo debe representar el contexto de rutas, clase y seguridad del servicio. Su administración necesitará autenticación, límites de uso y control del tráfico de prueba.

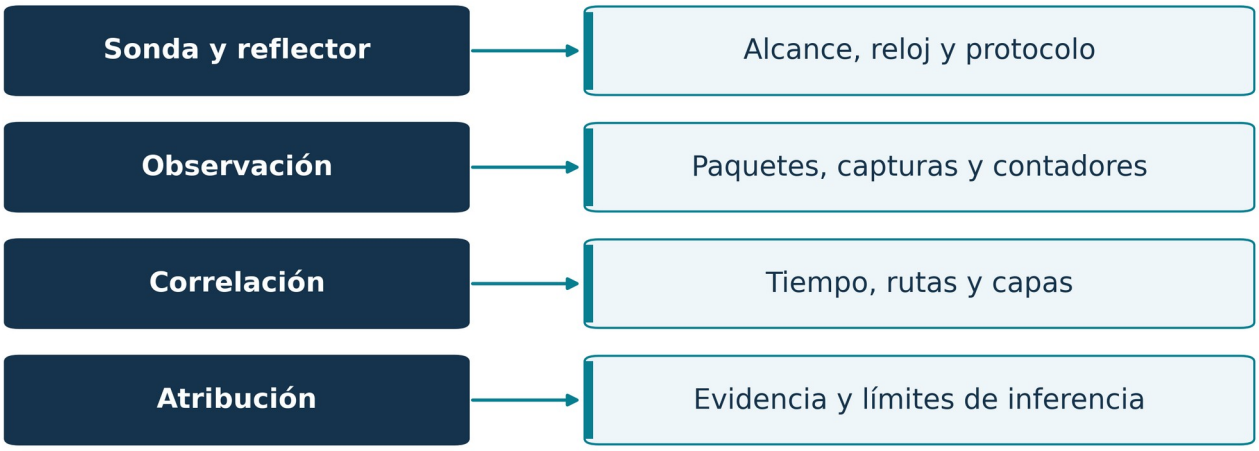


Figura 59.1. Observación y atribución. El resultado conserva lo medido y distingue las inferencias. Elaboración propia.

59.2 Combinar pruebas activas y observación pasiva

La prueba activa introduce tráfico conocido; la captura observa tráfico en un punto y período. Los contadores ofrecen volumen o eventos según implementación. La correlación debe usar ventanas compatibles y conocer si hay muestreo, descartes de captura o reinicio de contadores.

Un puerto espejo puede perder paquetes si la suma de las fuentes supera su salida. La ausencia de un paquete en la captura no demuestra automáticamente que la red lo perdió antes de ese punto. Se comprobarán capacidad, filtros y marcas temporales del sistema de adquisición.

Las capturas se limitarán al objetivo y a los permisos pertinentes. Se protegerán datos y credenciales, y se establecerán retención y acceso. Para muchas incidencias basta conservar cabeceras, contadores o identificadores de transacción; la selección depende de la pregunta técnica.

Tabla 59.1. Combinar pruebas activas y observación pasiva

Herramienta	Evidencia útil	Conclusión que no entrega sola
Ping	Respuesta y RTT de un destino bajo ICMP.	Capacidad contratada o ruta física.
Traceroute	Respuestas por límite de saltos.	Mapa exacto de fibras y sentido de retorno.
Sonda acordada	Métricas entre puntos y condiciones definidos.	Causa física de toda degradación.
Captura	Paquetes visibles en un punto.	Paquetes omitidos por el propio montaje.
Supervisión óptica	Estado de un alcance de línea.	Rendimiento completo de aplicación.

59.3 Interpretar ping traceroute y observación distribuida

Un router puede limitar o priorizar de otra manera sus respuestas de control. Un salto que responde lentamente mientras los posteriores conservan RTT normal no demuestra por sí solo congestión en el reenvío de ese router. También pueden existir túneles, balanceo y saltos que no respondan.

RIPE Atlas ofrece observación desde sondas distribuidas y documentación de medidas y resultados. Para usar su evidencia se conservarán identificadores, selección de sondas, destino y período. La ubicación de una sonda no convierte cada respuesta intermedia en una ubicación física comprobada. [193]

La ruta IP observada debe contrastarse con información del operador, topología y cambios de servicio. La geolocalización de direcciones y las inferencias de distancia tienen incertidumbre. El informe distinguirá dato observado, declaración de proveedor e hipótesis.

59.4 Atribuir con prudencia un segmento submarino

Weaver y colaboradores, NINeS 2026, estudian extracción de mínimo RTT en segmentos submarinos desde infraestructura de traceroute y muestran limitaciones para recuperar métricas dinámicas como variación por congestión. El trabajo refuerza la necesidad de identificar qué observación permite cada montaje. [194]

Un aumento de RTT extremo a extremo puede originarse en acceso terrestre, retorno, cola, cambio de ruta o procesamiento. Para atribuirlo a un cable se necesitan puntos y evidencia que aíslen el segmento. Las medidas conjuntas con el operador son distintas de inferirlo desde un único host.

La investigación mantendrá una cronología: síntoma, sondas, rutas, alarmas, estado de terminales y acciones. Se formularán hipótesis que puedan contrastarse con una prueba adicional. Correlación temporal orienta la búsqueda, pero no reemplaza la demostración causal.

59.5 Caso de un salto que parece culpable

En un caso ficticio, traceroute muestra una respuesta de 300 ms en un salto y 40 ms en el destino. Se acusa al carrier de añadir 260 ms. La revisión repite con otros protocolos y consulta contadores: el reenvío permanece normal, mientras el equipo limita respuestas de control.

El informe conserva el hallazgo con su alcance y usa una sonda entre demarcaciones para evaluar el compromiso. La conclusión evita convertir el comportamiento del plano de control en una medición directa de la demora de los paquetes de usuario.

59.6 Usar una captura sin atribuirle un alcance mayor

captura_sintetica_vlan100.pcap contiene 120 tramas creadas para enseñanza, con VLAN 100, direcciones de documentación y un contador de secuencia en el contenido UDP. No procede de un cliente ni de una red real. Permite abrir una captura y reconocer direcciones, etiqueta, campo DSCP y secuencias. Su temporización y tamaño no constituyen una prueba de rendimiento.

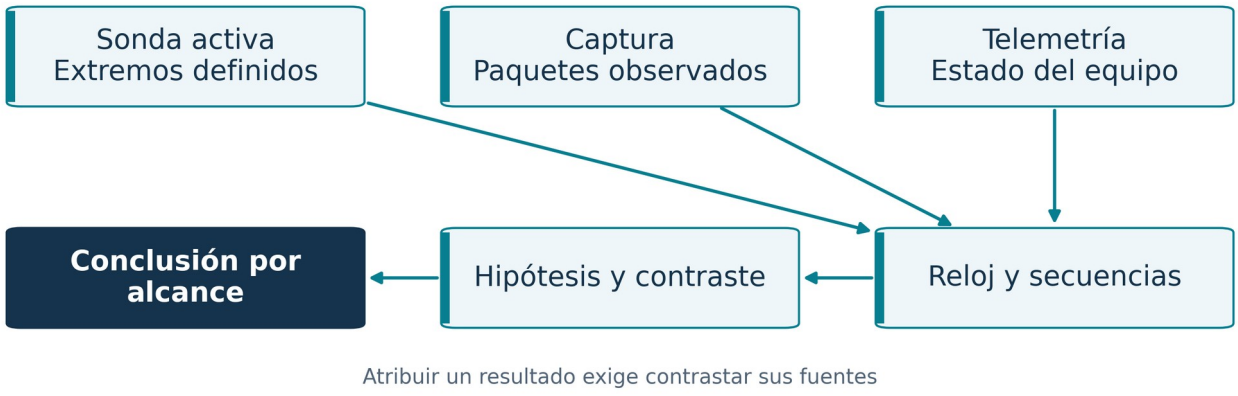


Figura 59.2. Fuentes de evidencia que se contrastan durante el diagnóstico. Cada una conserva alcance y limitaciones. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

1. Identificar dónde observa la captura respecto de la interfaz del usuario, los túneles, el cifrado y las funciones de descarga del host.
2. Comprobar si el puerto espejo, la sonda o el almacenamiento pueden perder paquetes de la copia. Registrar sus contadores y capacidad.
3. Relacionar secuencias, tiempos y contadores de la aplicación con la prueba activa entre extremos.
4. Formular una hipótesis que pueda contrastarse mediante otra observación. Un salto lento de traceroute no demuestra por sí solo retardo de reenvío.
5. Aislar el segmento mediante puntos acordados o pruebas conjuntas antes de atribuir una falla a un carrier o a un cable submarino.

59.7 Ejemplo de atribución escalonada

El usuario observa una transferencia lenta y una captura local muestra pausas. Primero se comprueba si la aplicación deja de producir datos, si el receptor limita su ventana o si el sistema de captura pierde muestras. Después se relacionan retransmisiones, RTT y tasa recibida con los contadores de los extremos. Solo cuando una prueba delimita la degradación entre dos puntos se atribuye a ese alcance. El incidente mantiene las hipótesis descartadas y la evidencia que permitió descartarlas.

Tabla 59.2. Ejemplo de atribución escalonada

Observación	Alcance directo	Siguiente contraste
Respuesta ICMP tardía de un salto	Tratamiento de esa respuesta de control	Reenvío extremo a extremo y contadores
Secuencia ausente en captura espejo	No se observó una copia del paquete	Pérdida del espejo frente a pérdida del servicio
Cambio de RTT mínimo	Cambió la condición observada del recorrido	Información del operador y pruebas por tramo
Contador óptico degradado	Estado de línea según el terminal	Modo, validez y resultado del servicio

59.8 Ejercicio con respuesta

Un salto de traceroute responde en 300 ms y el destino responde en 40 ms. Ese salto no demuestra una demora de 300 ms para el tráfico que continúa al destino. Se contrasta el tratamiento del plano de control y se utiliza una medición entre demarcaciones para evaluar el compromiso del carrier.

59.9 Laboratorio 59 leer una captura y delimitar su alcance

Objetivo y entrega. Reconocer la estructura de una captura y separar evidencia observada de ausencia de observación. El entregable documenta ubicación, filtros y restricciones del capturador.

Montaje y condiciones. Archivo PCAP sintético de 120 paquetes Ethernet con VLAN 100 y UDP. El analizador del kit comprueba cabeceras y longitudes de registro sin instalar bibliotecas adicionales. Una ejecución real requiere autorización, punto de captura, capacidad y contadores del capturador.

Material de análisis. captura_sintetica_vlan100.pcap El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 59.

1. Revisar la cabecera PCAP, formato de enlace y límites de cada registro antes de interpretar paquetes.
2. Contar registros y comprobar VLAN y protocolos sin inferir desempeño de sus marcas de tiempo fabricadas.
3. Situar el punto de captura respecto de NIC, offloads, filtros, espejado y posibles descartes de captura.
4. Relacionar el síntoma con una observación adicional en otro punto o extremo. Archivar captura y configuración sin borrar evidencia de una condición anómala.

Resultado y criterio de cierre. Se reconocen 120 registros válidos de la captura sintética. Esa estructura ayuda a aprender campos y no demuestra pérdida, jitter o throughput de una red real. La ausencia de un paquete en una captura puede pertenecer al camino o al propio sistema de observación.

Desafío de nivel avanzado. Un paquete no aparece en el espejo, pero el receptor confirma haberlo recibido. ¿Dónde se investiga primero?

Orientación de respuesta. Se revisan filtros, capacidad y descartes del espejo o capturador y las referencias de tiempo. No se atribuye al canal una pérdida contradicha por la recepción.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

59.10 Ruta de diagnóstico a partir de evidencia válida

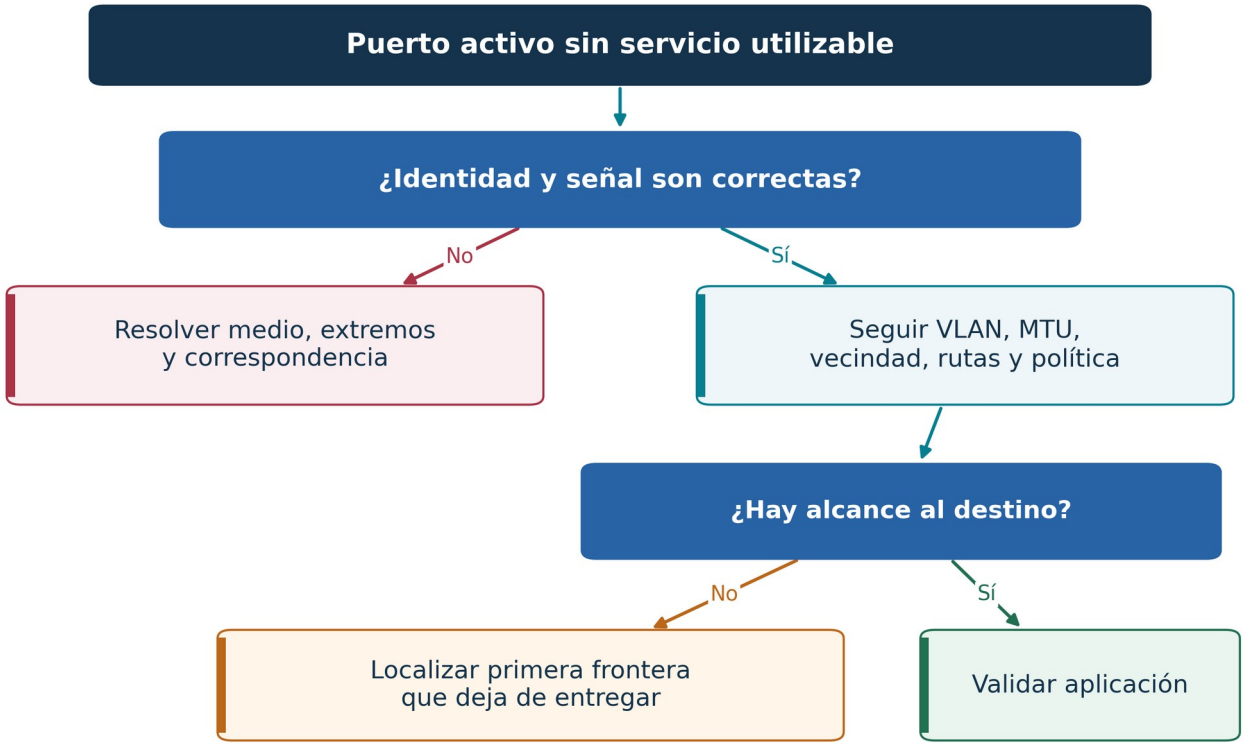


Figura 59.3. Puerto activo sin servicio utilizable. Elaboración propia; esquema didáctico.

Cada rama indica la siguiente comprobación dentro del alcance del capítulo. Registrar el dato que motiva el cambio de rama y conservar las hipótesis no resueltas. Si el montaje o el dato son inválidos, corregir esa condición antes de emitir una decisión sobre la instalación.

Entrega del capítulo. Captura y cronología con filtros capacidad y límites.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La sonda sigue el mismo servicio que el usuario?
2. ¿El reflector limita el resultado?
3. ¿La captura pudo descartar paquetes?
4. ¿Qué evidencia aísla el segmento al que se atribuye la falla?

Capítulo 60 Pruebas de aplicaciones y experiencia del usuario

Al terminar este capítulo, el lector podrá Aceptar una operación correcta bajo carga y contingencia.

Términos esenciales. Transacción = operación funcional identificable; concurrencia = operaciones activas simultáneas.

La aceptación de aplicación comprueba una operación completa: resolver un nombre, establecer comunicación, autenticarse, procesar y entregar un resultado correcto. La red es una dependencia de esa operación. Medir solamente el puerto no representa el tiempo que experimenta el usuario ni permite ubicar todas las causas de demora.

60.1 Definir transacciones y resultados correctos

Montaje o lámina de apoyo: figura M.18. La leyenda conserva el alcance y las comprobaciones del ejemplo.

El requisito identificará actor, ubicación, operación, volumen, concurrencia, tiempo y condición de éxito. Una consulta debe devolver el contenido esperado; una transferencia debe completar el volumen e integridad; un respaldo debe poder restaurarse bajo el alcance acordado.

Se distinguirán tráfico sintético y observación real. El primero facilita repetibilidad y aislamiento; la segunda revela mezcla de usuarios y condiciones de producción. Su comparación exige conservar diferencias de datos, permisos, caché y comportamiento.

Una respuesta técnica exitosa puede contener un error funcional. El criterio de aceptación deberá revisar resultado de negocio y códigos técnicos pertinentes. También se contará tasa de error, abandono y reintentos, además del tiempo de respuestas recibidas.

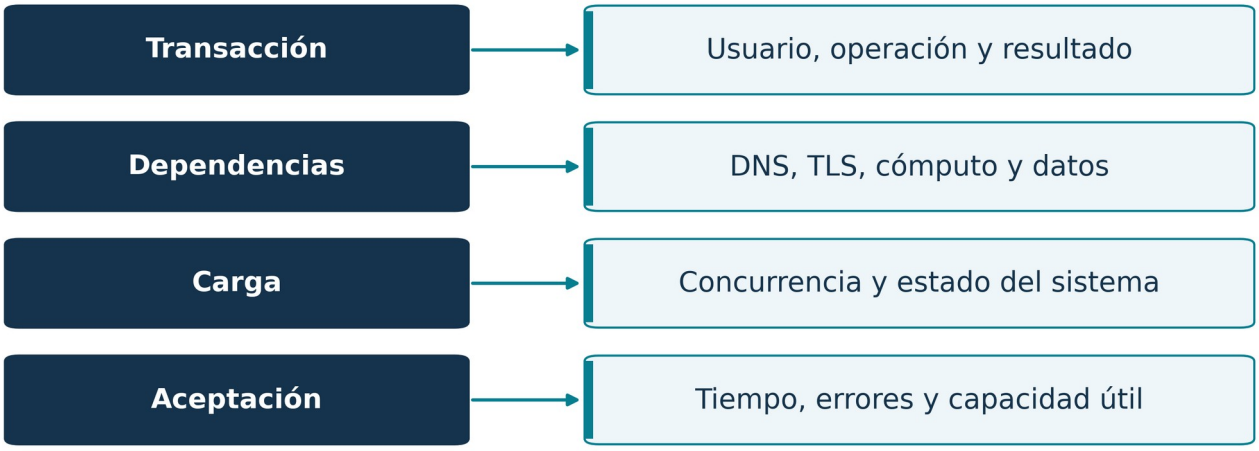


Figura 60.1. Prueba de una transacción y sus dependencias. El resultado combina tiempo, exactitud y capacidad. Elaboración propia.

60.2 Separar etapas sin sumar tiempos incompatibles

El análisis puede observar DNS, establecimiento de transporte, TLS, autenticación, procesamiento, base de datos y entrega. Las etapas pueden ejecutarse en paralelo o reutilizar sesiones. No se sumarán duraciones superpuestas para inventar un tiempo total.

OpenTelemetry representa operaciones mediante spans y su correlación en trazas distribuidas. Esta instrumentación puede ayudar a localizar tiempo en servicios, siempre que haya propagación de contexto y cobertura suficientes. El muestreo y los componentes no instrumentados limitarán la interpretación. [195]

Los tiempos del navegador, servidor y sonda deben tener puntos de inicio y final claros. La carga de una página y el momento en que queda utilizable son métricas distintas. Del mismo modo, confirmar recepción en memoria y confirmar persistencia de una escritura no son equivalentes.

60.3 Construir una carga representativa

La matriz variará volumen, concurrencia, distribución de solicitudes y ubicación. Se declarará si las sesiones se reutilizan, si el conjunto cabe en caché y si existen límites de usuario. Los generadores deben disponer de recursos para no convertirse en el cuello de botella.

Se observará carga ofrecida y operaciones completadas. Un modelo que espera a terminar cada solicitud antes de enviar la siguiente puede reducir demanda justo cuando aumenta la demora y ocultar parte del deterioro. El patrón de llegada debe corresponder al uso y quedar escrito.

Las pruebas de larga duración permiten observar rotación de credenciales, renovación de sesiones, mantenimiento, copias y agotamiento gradual de recursos. Su duración se justificará por los fenómenos que se buscan. Un ensayo breve no cubre todos los ciclos operativos.

Tabla 60.1. Construir una carga representativa

Operación	Qué se mide	Dependencias que deben observarse
Consulta	Tiempo, errores y contenido válido.	DNS, aplicación y base de datos.
Transferencia	Goodput, integridad y finalización.	Transporte, cifrado y almacenamiento.
Replicación	Retraso y estado consistente.	Red, escritura y política de réplica.
Respaldo y restauración	Volumen, tiempo y recuperación útil.	Origen, destino, catálogo y acceso.

60.4 Relacionar red hosts y datos

Se correlacionarán RTT, pérdida y retransmisiones con CPU, memoria, colas de trabajo, disco y métricas de servicio. La saturación de una aplicación puede aumentar el tiempo sin variar el RTT de una sonda independiente. Una falla de red puede manifestarse como reintentos de la aplicación.

La prueba escalonada separará transporte en memoria, cifrado y operación persistente cuando sea útil. Después volverá a la transacción completa. Aislar componentes ayuda a diagnosticar; no reemplaza la aceptación final del conjunto.

Se incluirán usuarios remotos y rutas alternas relevantes. El cambio de sitio puede modificar proximidad a DNS, identidad o base de datos. Una aplicación trasladada con servidores sanos puede seguir dependiendo de un servicio que quedó inaccesible en el sitio original.

60.5 Caso de un respaldo que termina pero no restaura

Un caso ficticio acepta el respaldo por completar la copia dentro de la ventana. En el ejercicio de recuperación se descubre que el catálogo y las claves permanecen en el sitio perdido. Los datos existen en destino, pero el servicio no puede utilizarlos.

La revisión incorpora restauración, acceso independiente al catálogo y custodia de claves. La repetición mide el tiempo hasta una operación válida y conserva integridad. La conectividad se acepta en relación con la función que debe sostener durante la recuperación.

60.6 Descomponer una transacción concreta

El caso define una operación de consulta con respuesta validada por contenido. En transaccion_etapas.csv se utiliza una secuencia didáctica sin solapamiento: DNS 5 ms, establecimiento TCP 80 ms, TLS 80 ms, autenticación 20 ms y backend 40 ms. El total observado del modelo es 225 ms. La suma resulta válida porque las etapas de este ejemplo son consecutivas y tienen un mismo origen temporal.

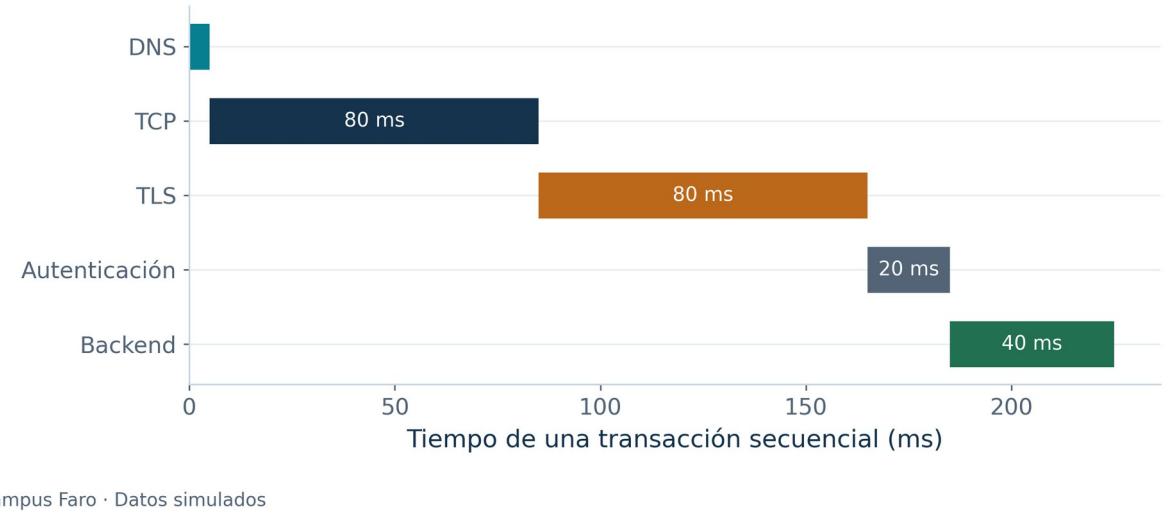


Figura 60.2. Cronología de la transacción simulada. En una aplicación con paralelismo o reutilización de conexiones debe reconstruirse la dependencia real. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

60.7 Preparar carga y verificar resultado funcional

1. Definir operación, volumen, datos de entrada y contenido de la respuesta correcta. Incluir integridad o persistencia cuando forman parte de la tarea.
2. Fijar un patrón de llegadas y distinguir carga ofrecida de operaciones completadas. Registrar rechazos y timeouts.
3. Declarar caché, sesiones reutilizadas y ubicación del usuario. Medir cada condición que represente un uso relevante.

4. Correlacionar etapas con red, CPU, memoria y almacenamiento. Mantener un identificador de transacción y relojes compatibles.
5. Ensayar el escenario de pérdida y recuperación, verificando que la operación y los datos vuelven a ser utilizables.
6. Emitir tiempo, errores, carga y resultados correctos sobre la misma población.

Un generador que espera a terminar cada petición antes de enviar la siguiente puede reducir la carga ofrecida cuando el sistema se vuelve lento. El informe debe mostrar ese comportamiento. Para un patrón de llegadas independiente de las respuestas, hay que conservar la cola y las solicitudes que no llegaron a completarse; excluirlas produciría una descripción favorable de una fracción del trabajo.

Tabla 60.2. Preparar carga y verificar resultado funcional

Condición	Dato que debe conservarse
Conexión nueva	DNS, TCP, TLS y autenticación según recorrido
Sesión reutilizada	Etapas omitidas por reutilización y su población
Lectura con caché	Estado y alcance de la caché
Escritura persistente	Confirmación e integridad requeridas
Recuperación	Red, identidad, catálogo, claves y datos disponibles

60.8 Ejercicio de recuperación con respuesta

El enlace alternativo funciona a los 20 minutos, pero el acceso a la aplicación queda bloqueado por un servidor de identidad ubicado en el sitio perdido. El RTO de la función no termina al recuperar el enlace. Hay que validar la operación autorizada con identidad y datos disponibles, conservar la cronología y corregir esa dependencia para el siguiente ejercicio.

60.9 Laboratorio 60 validar contenido además de tiempo

Objetivo y entrega. Descomponer una operación secuencial y producir una decisión que considere datos correctos, identidad y persistencia cuando correspondan.

Montaje y condiciones. Secuencia simulada DNS, TCP, TLS, autenticación y backend. En una práctica real se necesitan cliente, destino controlado, identidad de prueba y forma acordada de verificar contenido. El ejercicio no accede a una aplicación externa.

Material de análisis. transaccion_etapas.csv El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 60.

1. Comprobar que inicio y fin de las fases no se solapan en el archivo y sumar sus duraciones.
2. Identificar qué fases cambiarían con conexión reutilizada, caché o ejecución paralela; mantenerlas como escenarios diferentes.
3. Definir verificación de contenido e identificador de transacción para relacionar observaciones de cliente y backend.
4. Preparar carga y contingencia con conteo de operaciones iniciadas, terminadas, fallidas y pendientes.

Resultado y criterio de cierre. Las fases secuenciales suman 225 ms. El tiempo no sustituye la validación de datos. Un resultado rápido con identidad incorrecta o escritura no persistida incumple la función que exige esas condiciones. Las fases paralelas se evalúan con su dependencia y camino crítico.

Desafío de nivel avanzado. Una aplicación responde en 100 ms con código exitoso y datos de otro usuario. ¿Es conforme?

Orientación de respuesta. Incumple el requisito funcional y de aislamiento. La aceptación temporal solo describe una dimensión de la respuesta.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

Entrega del capítulo. Resultado con contenido identidad tiempo e integridad.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La respuesta se valida por contenido?
2. ¿La carga ofrecida se mantiene durante la demora?
3. ¿Caché y sesiones representan el uso?
4. ¿La recuperación incluye catálogo, identidad y claves?

Capítulo 61 Pruebas de redes de IA y almacenamiento

Al terminar este capítulo, el lector podrá Evaluar colectivas y almacenamiento a una escala declarada.

Términos esenciales. AllReduce = operación colectiva de reducción y distribución; busbw = métrica normalizada del ensayo.

Las redes de IA y almacenamiento se aceptan por el trabajo que permiten completar bajo carga y a escala. Una tasa punto a punto favorable no demuestra que una colectiva distribuida, un entrenamiento o una plataforma de datos mantengan el rendimiento esperado. El plan debe observar red, topología de nodos y aplicación.

61.1 Construir una escalera de pruebas

Se comienza por identidad, medio, velocidad, ancho y estado de enlaces, errores y correspondencia de puertos. Se revisa la relación entre NIC, CPU, memoria, PCIe y GPU. Un recurso interno del nodo puede limitar antes de que la red alcance su capacidad.

Después se ensaya comunicación entre pares, dentro y entre nodos según el caso. Se comparan memoria de host y de GPU cuando la plataforma lo permite, conservando tamaño de mensaje y método. La guía de diagnóstico de NCCL recomienda revisar estado y pruebas de bajo nivel antes de atribuir una falla a la biblioteca. [196]

La última etapa ejecuta colectivas y trabajo representativo con el número y ubicación previstos de nodos. Se fijarán versiones, configuración, biblioteca de comunicación, drivers y selección de interfaces. Un camino de gestión elegido por error puede producir una falla o un rendimiento engañoso.

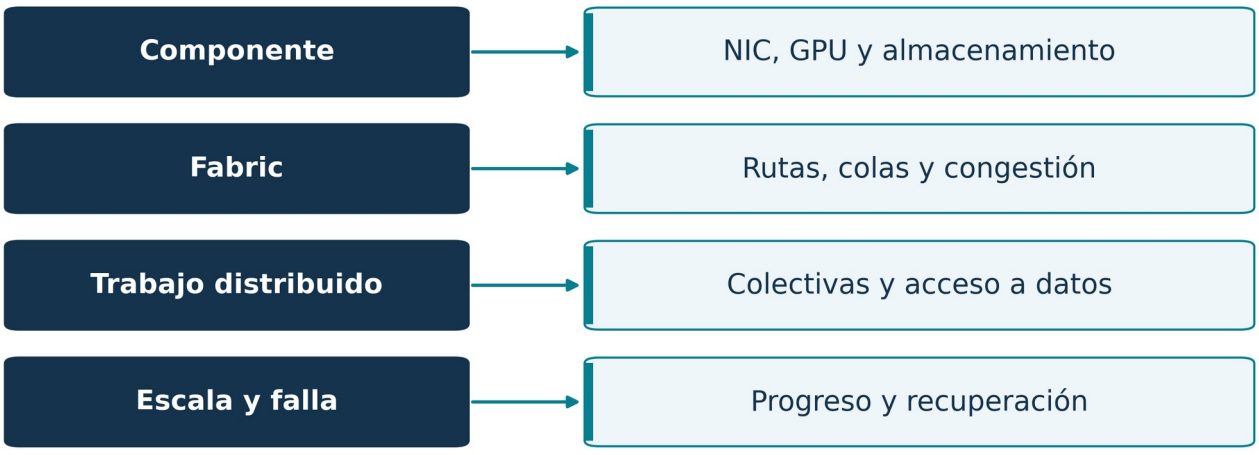


Figura 61.1. Aceptación desde el componente hasta el trabajo distribuido. Escala y recuperación son parte de la evidencia. Elaboración propia.

61.2 Interpretar colectivas y métricas de ancho de banda

El plan elegirá operaciones como AllReduce, AllGather o AlltoAll según la carga. Se variarán tamaños pequeños y grandes, número de participantes y colocación. Se conservarán calentamiento, iteraciones, errores y tiempos, además de los indicadores de ancho de banda.

NCCL Tests distingue algbw, relacionado con tamaño y tiempo de la operación, y busbw, que aplica un factor según la colectiva. Este último no es una lectura directa de un puerto Ethernet. El documento de rendimiento explica sus fórmulas y condiciones; deben revisarse al comparar topologías y algoritmos. [197]

No se comparará un resultado agregado que incluye enlaces internos de GPU con la capacidad de una sola NIC sin analizar el alcance. Una mejora de busbw tampoco demuestra automáticamente una reducción proporcional del tiempo de entrenamiento: cómputo, entrada de datos y solapamiento influyen.

61.3 Observar congestión ECN y PFC

En RoCE se revisarán clasificación, MTU, colas y mecanismo de control de congestión adoptado. ECN y respuesta del extremo deben observarse juntos. Si el diseño utiliza PFC, se medirán pausas por prioridad, duración, propagación y efecto sobre otros trabajos, conforme a las funciones disponibles.

No se habilitará pausa de manera indiscriminada para ocultar pérdidas. Las políticas dependen de plataforma y diseño; existen modos que utilizan ECN sin PFC. La aceptación debe comprobar la combinación instalada y sus límites, no asumir una única receta para toda red RDMA.

En InfiniBand se comprobarán estado de la fabric, Subnet Manager y correspondencia de enlaces y rutas. Los contadores y la gestión difieren de Ethernet. Debe conservarse una ficha por tecnología y un resultado común de aplicación para relacionar ambas capas de evidencia.

Tabla 61.1. Observar congestión ECN y PFC

Nivel	Carga representativa	Resultado
Nodo	Pares y tamaños de mensaje.	Latencia, tasa y límites internos.
Fabric	Destinos simultáneos y competencia.	Colas, errores y progreso.
Colectiva	Participantes y operación definidos.	Tiempo, corrección y variación.
Almacenamiento	Mezcla, bloque y concurrencia.	IOPS, tasa y latencia de cola.
Trabajo completo	Datos y tamaño realistas.	Tiempo útil, escala y recuperación.

61.4 Aceptar almacenamiento y acceso a datos

Las pruebas definirán lectura o escritura, secuencial o aleatoria, tamaño de bloque, profundidad de cola, concurrencia y conjunto de datos. IOPS y MB/s solo son comparables si esas condiciones corresponden. El informe indicará caché y persistencia, evitando atribuir a discos datos entregados desde memoria.

Se observará la plataforma durante réplica, reconstrucción y respaldo cuando esos procesos formen parte del servicio. El rendimiento máximo en reposo no garantiza capacidad durante una falla. Las prioridades deben conservar progreso del trabajo y de la reparación.

La pérdida de un camino se comprobará junto con multipath, tiempos de sesión y reacción de aplicación. El regreso del enlace no demuestra integridad ni continuación del trabajo; deben validarse datos, reintentos y estado de las tareas.

61.5 Caso de ampliación que no escala

En un ejemplo ficticio se duplica de ocho a dieciséis nodos y el tiempo por paso empeora. Las pruebas entre pares son favorables, pero el trabajo completo concentra lectura en un único destino y mezcla ese tráfico con colectivas. El límite aparece bajo concurrencia.

El equipo compara colocación, entrada de datos y colas; modifica el reparto conforme al diseño y repite escalado y contingencia. La aceptación conserva rendimiento por tamaño de plataforma y trabajo, junto con las condiciones de recuperación. El capítulo 62 amplía este análisis a dominios de falla de todo el recorrido.

61.6 Leer y comprobar una salida de AllReduce

El archivo nccl_allreduce.csv utiliza un mensaje de 1000 millones de bytes por rank. Un rank es un participante del trabajo y debe relacionarse con procesos y GPU; no se sustituye sin explicación por número de nodos. Con 8 ranks y 50 ms, algbw es 20 GB/s decimales. Para AllReduce, el factor 2(n−1)/n es 1,75 y busbw resulta 35 GB/s. Son resultados simulados calculados con las definiciones de NCCL Tests. [197]

$$algbw = \frac{S}{t};\ busbw = algbw \cdot \frac{2(n-1)}{n}$$

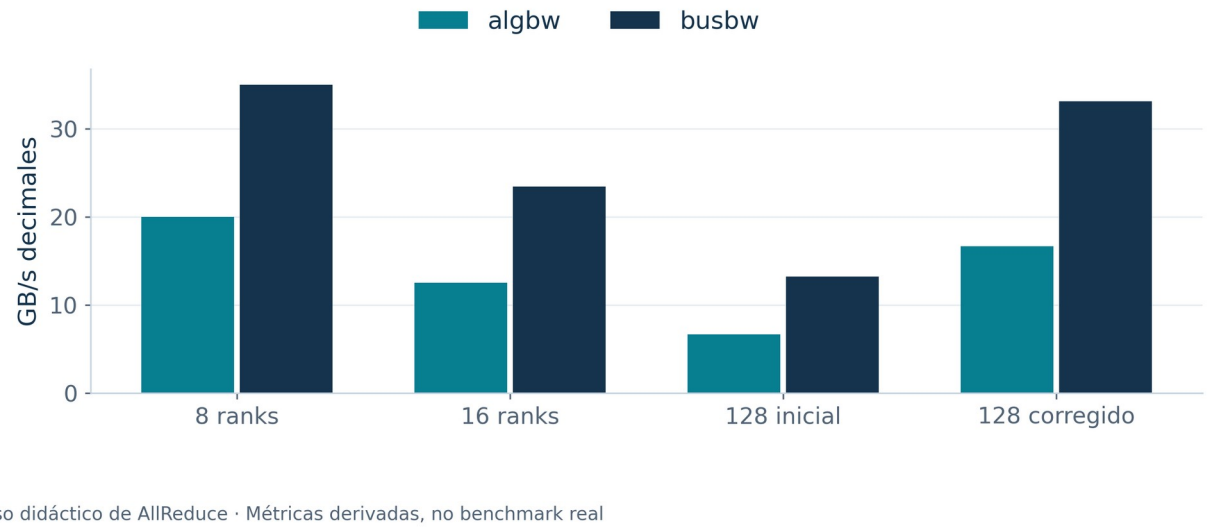


Figura 61.2. Resultados didácticos de AllReduce. busbw es una métrica derivada de la colectiva y no un contador directo de una NIC. Elaboración propia; esquema o datos simulados.

Tabla 61.2. Leer y comprobar una salida de AllReduce

Condición	Tiempo por operación	algbw	busbw
8 ranks inicial	50 ms	20,00 GB/s	35,00 GB/s

Condición	Tiempo por operación	algbw	busbw
16 ranks inicial	80 ms	12,50 GB/s	23,44 GB/s
128 ranks inicial	150 ms	6,67 GB/s	13,23 GB/s
128 ranks corregido	60 ms	16,67 GB/s	33,07 GB/s

61.7 Procedimiento de aceptación por escalas

1. Registrar topología de nodos y GPU, afinidad, NIC, PCIe, enlaces internos, firmware, drivers, biblioteca y revisión del programa de prueba.
2. Validar componentes y comunicación entre pares antes de ejecutar una colectiva grande. Comprobar que se utilizan las interfaces previstas.
3. Definir operaciones, tamaños, calentamiento, iteraciones y población de ranks. Mantener la colocación para comparar un cambio.
4. Ejecutar colectivas junto con entrada de datos y almacenamiento cuando compiten en la operación real. Observar errores, colas y progreso del trabajo.
5. En RoCE, contrastar ECN y la respuesta de los extremos; si el diseño usa PFC, observar pausas por prioridad y propagación. En InfiniBand, utilizar sus estados y contadores propios.
6. Repetir con pérdida de camino y reconstrucción de almacenamiento, validando trabajo útil y recuperación de datos además del enlace.

El requisito didáctico para la colectiva de 128 ranks es terminar el mensaje definido en un máximo de 65 ms bajo la carga y configuración pactadas. La condición inicial de 150 ms incumple y la corregida de 60 ms cumple esa prueba. Esto no equivale a certificar todos los tamaños o trabajos. El tiempo de entrenamiento depende también del cómputo, de la alimentación de datos y del solapamiento.

61.8 Ejercicio de interpretación con respuesta

Se informa busbw de 35 GB/s en una operación que combina enlaces locales de GPU y red entre nodos. No corresponde compararlo directamente con una sola interfaz Ethernet para concluir que se ha superado su capacidad. Se reconstruyen ranks, topología, algoritmo y tráfico de cada dominio. La métrica conserva el significado de la colectiva definido por NCCL Tests. [197]

61.9 Laboratorio 61 recalcular una colectiva a escala declarada

Objetivo y entrega. Recalcular algbw y busbw y decidir el requisito de una colectiva sin convertirlo en certificación de la plataforma completa.

Montaje y condiciones. Modo analítico con AllReduce de 1000 millones de bytes por rank. La extensión física necesita nodos y GPU identificados, versiones de CUDA/NCCL/nccl-tests, asignación de ranks y topología. Los comandos se preparan para la plataforma del laboratorio y conservan también comprobación de corrección. [225]

Material de análisis. nccl_allreduce.csv El modo de análisis se invoca con python3 laboratorios/laboratorios_faro.py --capitulo 61.

1. Verificar operación, participantes, bytes por rank y tiempo de cada fila.

2. Recalcular algbw = bytes/tiempo y busbw = algbw × 2(n−1)/n, con GB/s decimales.
3. Comparar 128 ranks a 150 y 60 ms frente al objetivo del ejercicio de 65 ms. Mantener los dos estados.
4. Añadir las pruebas de almacenamiento, checkpoint y recuperación necesarias para aceptar el trabajo completo.

Resultado y criterio de cierre. Para 128 ranks y 60 ms, algbw = 16,6667 GB/s y busbw = 33,0729 GB/s. La colectiva corregida cumple este ensayo; los grupos de 8 y 16 ranks no prueban por sí solos los 128. La aceptación conserva colocación, tamaño, corrección y condiciones de concurrencia.

Desafío de nivel avanzado. La colectiva cumple, pero falla la restauración de un checkpoint. ¿Se acepta recuperación de la plataforma?

Orientación de respuesta. La recuperación queda incumplida o pendiente según la evidencia. El resultado favorable de comunicación no demuestra persistencia ni restauración.

Evaluación. Rúbrica P.4, con el criterio de cierre de este laboratorio y conservación de los datos discordantes.

Entrega del capítulo. Resultados por tamaño ranks colocación y recuperación.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La métrica incluye comunicación interna del nodo?
2. ¿La carga reproduce colectivas y acceso a datos?
3. ¿Se observó reacción real a ECN o PFC?
4. ¿Se ensayó trabajo durante reconstrucción y pérdida de un camino?

Parte 11 Resiliencia y seguridad del servicio completo

La resiliencia se evalúa sobre eventos y dependencias concretas. Se integran dominios de falla, conmutación, recuperación de aplicaciones, protección y coordinación de crisis.

Capítulo 62 Dominios de falla y amenazas comunes

Al terminar este capítulo, el lector podrá Definir amenazas que pueden afectar varios recursos a la vez.

Términos esenciales. Dominio de falla = recursos expuestos a un mismo evento; amenaza = condición que puede causar daño.

La redundancia depende de lo que puede fallar en conjunto. Dos servicios con números distintos pueden compartir cable, ducto, estación, equipo, energía o personal. El análisis debe recorrer desde el sistema submarino hasta el servidor y conservar evidencia de las separaciones que realmente sostienen la continuidad.

62.1 Definir dominios y riesgos compartidos

Un dominio de falla reúne recursos que pueden quedar afectados por un mismo evento bajo un escenario definido. La escala puede ser un puerto, tarjeta, chasis, sala, edificio o región. Debe indicarse el evento que se pretende tolerar; independencia frente a una tarjeta no demuestra independencia frente a inundación del edificio.

En ingeniería de tráfico, SRLG identifica enlaces que comparten un recurso cuyo fallo puede afectarlos. RFC 8001 trata recopilación de esa información para RSVP-TE. El concepto ayuda a modelar riesgos físicos, aunque utilizar el protocolo no descubre por sí solo todos los ductos o acuerdos comerciales compartidos. [115]

Se mantendrán identificadores de riesgo junto con origen, fecha y confianza de la información. Desconocido no equivale a diverso. Las declaraciones del proveedor se contrastarán con planos y evidencias disponibles bajo las restricciones de acceso acordadas.

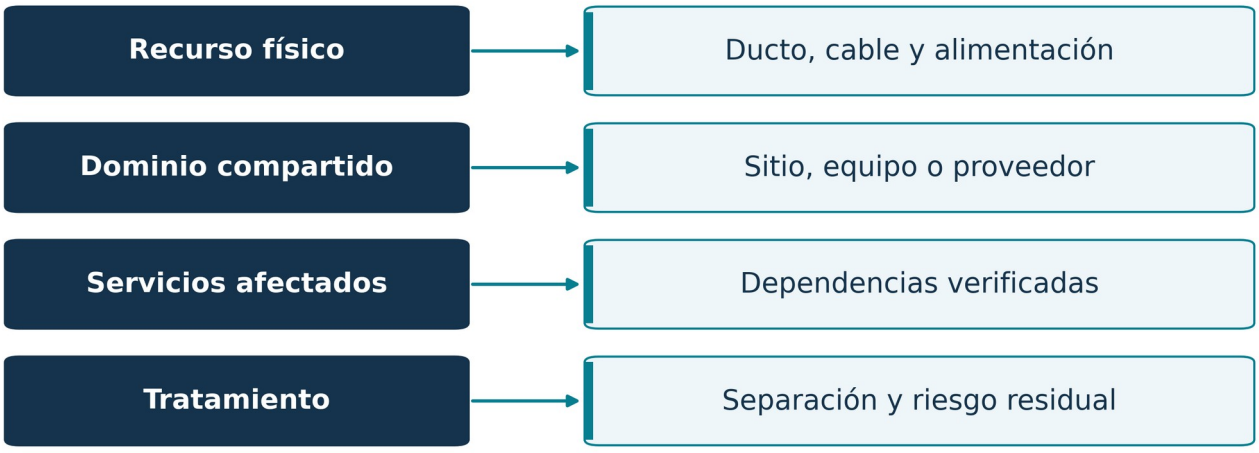


Figura 62.1. Recurso, riesgo y servicio. La diversidad se demuestra frente a un escenario concreto. Elaboración propia.

62.2 Recorrer la cadena internacional e interna

El análisis exterior incluirá cable submarino, estación de amarre, backhaul, cruces críticos, entradas al campus y edificios de presencia. Un cable distinto puede compartir estación o acceso terrestre. Dos carriers comerciales pueden comprar el mismo tramo a un tercero.

Dentro del data center se revisarán entradas, cámaras, bandejas, penetraciones, MMR, distribución a salas y rack. Los recorridos deben seguirse físicamente donde exista acceso autorizado. La separación en un plano lógico no demuestra separación de soportes ni de exposición a un mismo trabajo.

A nivel de equipos se comprobarán tarjeta, chasis, fuente, alimentación aguas arriba, refrigeración y gestión. La duplicación de fuentes puede mantener un punto común en la distribución eléctrica. El diseño debe coordinar telecomunicaciones y energía sin deducir independencia a partir de colores de cable.

Tabla 62.1. Recorrer la cadena internacional e interna

Recurso compartido	Evento de ejemplo	Evidencia para revisar
Ducto o cruce	Obra que interrumpe ambos cables.	Ruta y tramos comunes identificados.
MMR o sala	Incidente que impide acceso o servicio.	Distribución y dominios del edificio.
Chasis o control	Falla o actualización del equipo.	Mapa de interfaces y redundancia real.
Energía o frío	Pérdida de suministro común.	Dependencias aguas arriba.
Proveedor y operación	Intervención simultánea o falta de acceso.	Cadena contractual y procedimientos.

62.3 Incorporar amenazas geográficas y operativas

Los escenarios considerarán amenazas del sitio y su entorno, accesibilidad y concentración de infraestructura. Un mapa público de amenaza puede orientar la evaluación, pero no acredita por sí solo que una instalación sea segura ni sustituye los estudios específicos del proyecto.

También existen fallas comunes no estructurales: una plantilla equivocada distribuida a ambos bordes, una cuenta administrativa comprometida o una intervención que desconecta dos rutas. La separación física necesita disciplina de cambios, permisos y revisión.

El análisis de mantenimiento debe identificar si una ruta queda expuesta mientras la otra se interviene. La continuidad durante un fallo y la capacidad de mantener sin interrupción son objetivos relacionados, pero diferentes. Cada uno necesita sus propios escenarios y pruebas.

62.4 Decidir tratamientos y riesgo residual

Cada riesgo tendrá servicios afectados, consecuencia, tratamiento y responsable. Las opciones incluyen separar recursos, cambiar recorrido, añadir capacidad, reducir dependencia o aceptar explícitamente el riesgo con sus condiciones. Una reserva de puertos no elimina un corredor físico común.

Los cálculos de disponibilidad de caminos independientes solo son aplicables si las hipótesis de independencia y datos son defendibles. Multiplicar indisponibilidades sin tratar causas comunes puede producir cifras optimistas. Se documentarán modelo, fuentes y límites antes de usar el resultado comercialmente.

La matriz se revisará después de ampliaciones, reparaciones, cambios de proveedor y migraciones. Una diversidad que existía al entregar puede perderse si el operador traslada un tramo o si una nueva bandeja reúne caminos antes separados.

62.5 Caso de dos MMR con un punto común

Un caso ficticio entrega accesos por MMR A y MMR B. La auditoría descubre que ambos troncales cruzan una única penetración hacia la sala blanca. El cliente tolera la falla de un equipo de MMR, pero sigue expuesto al evento en esa penetración.

El equipo registra el riesgo, diseña una ruta alternativa y ensaya cada camino. El acta describe el escenario que ahora se tolera y conserva los riesgos restantes. La palabra redundante queda respaldada por un recorrido y una prueba.

62.6 Registro de riesgo común aplicado al campus

La matriz del caso registra dos dominios comerciales y físicos, pero exige revisar recursos que podrían reunirlos: un puente de backhaul, la cámara de aproximación, una penetración, el suministro de una MMR o el servicio de identidad de la aplicación. Cada fila identifica recurso, servicios afectados, evidencia, fecha y escenario de falla. Desconocido permanece como estado explícito hasta obtener información suficiente.

Tabla 62.2. Registro de riesgo común aplicado al campus

Recurso del ejercicio	Exposición detectada	Tratamiento
Puente P-17	Ambos carriers usaban el mismo cruce inicial	Cambiar recorrido B y verificar lo ejecutado
Penetración PEN-02	Las dos troncales de E02 convergían	Separar el paso o declarar el riesgo residual
Identidad APP-ID	La aplicación dependía de un sitio único	Diseñar y ensayar recuperación funcional

Después del cambio se actualizan planos, SRLG y servicios. La prueba funcional del escenario complementa la auditoría física: desconectar un puerto no reproduce necesariamente la pérdida del puente o de toda la MMR. El informe distingue el recurso simulado del recurso real que se quiere tolerar.

Entrega del capítulo. Matriz evento recursos impacto y evidencia.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Frente a qué evento se declara diversidad?
2. ¿Hay tramos de terceros sin evidencia?
3. ¿El cambio puede afectar ambos dominios?
4. ¿La matriz representa el estado actual?

Capítulo 63 Pruebas de redundancia y conmutación

Al terminar este capítulo, el lector podrá Ensayar falla retorno y régimen degradado con tráfico.

Términos esenciales. Conmutación = cambio de camino o recurso; régimen degradado = condición después de perder capacidad.

Una prueba de redundancia debe observar el servicio mientras ocurre una falla controlada. El estado de los protocolos ayuda a explicar el resultado, pero la continuidad se comprueba con tráfico y operaciones. El protocolo debe incluir capacidad residual, tiempo, pérdidas y retorno a un estado conocido.

63.1 Preparar el escenario, la carga y las condiciones de parada

Cada caso identificará elemento que se retira, dominio, servicios afectados y estado inicial esperado. Se confirmarán rutas activas, carga, reservas y ausencia de fallas previas. La prueba será autorizada dentro de una ventana con coordinación entre cliente, data center y carrier.

Se definirán límites para detener el ensayo, responsable de decisión y procedimiento de retorno. Debe mantenerse un acceso de gestión adecuado y personal con capacidad de recuperar. Una prueba no comienza si el camino de respaldo está degradado o si falta evidencia de su capacidad.

El tráfico identificará flujos y secuencias en ambos sentidos. Se elegirán frecuencia y resolución que permitan evaluar la interrupción prevista. Las sondas lentas no pueden demostrar tiempos menores que su capacidad de observación.

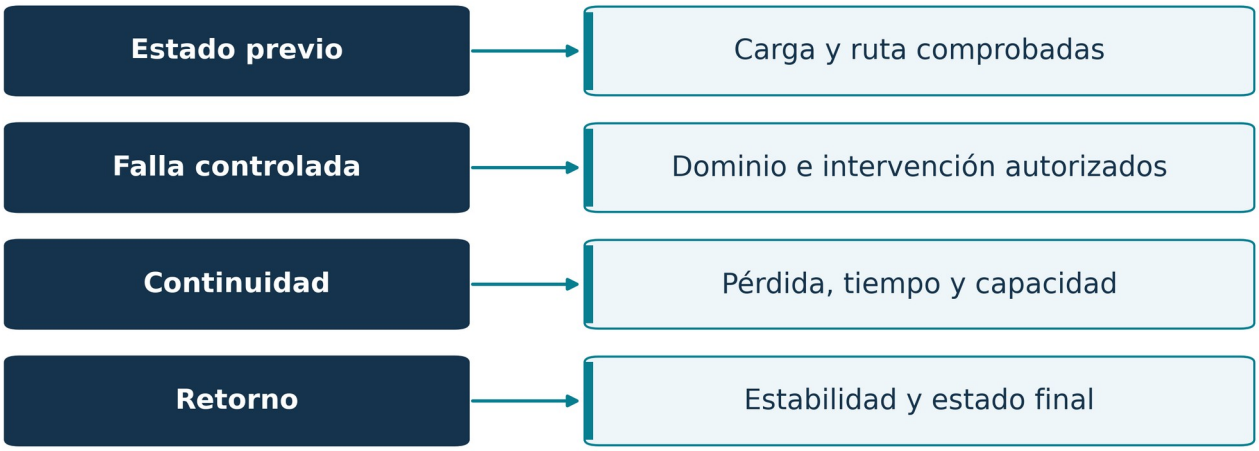


Figura 63.1. Secuencia de una falla controlada. La recuperación incluye continuidad y estado final. Elaboración propia.

63.2 Separar protección convergencia y recuperación

La protección de transporte, la convergencia IP y la reacción de aplicación ocurren en capas distintas y pueden tener escalas diferentes. No se sumarán tiempos arbitrariamente ni se asumirá un valor universal de 50 ms para cualquier arquitectura.

RFC 6413 propone benchmarking de convergencia de IGP de estado de enlace mediante observación del plano de datos. Su alcance específico no equivale a un protocolo completo de continuidad de data center, pero ilustra por qué la tabla de rutas no basta para medir interrupción del tráfico. [198]

Se distinguirán detección del fallo, cambio de reenvío, primer paquete recuperado y servicio estable bajo el criterio acordado. Puede existir un primer paquete seguido de nuevas pérdidas. El informe debe conservar la secuencia y no elegir solamente el instante más favorable.

Tabla 63.1. Separar protección convergencia y recuperación

Falla controlada	Qué se observa	Dependencias que se revisan
Fibra o puerto	Pérdida, alarma y cambio de camino.	Doble conexión y alcance real.
Equipo o tarjeta	Flujos, sesiones y capacidad.	Control, fuentes y gestión.
Acceso de carrier	Rutas y destinos externos.	Proveedor y recursos comunes.
Dominio de MMR	Servicio en camino alterno.	Distribución, energía y acceso.
Retorno	Nueva interrupción y estabilidad.	Política de preferencia y sincronización.

63.3 Medir capacidad después de conmutar

El camino sobreviviente debe transportar la carga que le corresponde. Si cada enlace opera al 60 % y ambos tienen igual capacidad, reunir toda la demanda puede superar un único enlace. La política deberá reducir carga no crítica o disponer de reserva suficiente.

Se medirán tasa recibida, pérdida, retardo, colas y transacciones durante la contingencia. Los flujos largos y las sesiones nuevas pueden reaccionar de forma distinta. El ensayo incluirá tráfico representativo y validará que las políticas siguen aplicándose.

La protección puede introducir un recorrido más largo y otro margen óptico. El servicio debe cumplir el compromiso definido para ese estado. Si se permite una prestación diferente durante contingencia, debe quedar explícita antes de ejecutar.

63.4 Ensayar retorno y repetibilidad

La restauración del elemento no termina la prueba. Se comprobarán aprendizaje, rutas, sesiones, alarmas y retorno de carga. La preferencia automática puede producir una segunda interrupción; el procedimiento establecerá si el retorno es inmediato, diferido o manual.

Se repetirán los casos con una justificación técnica para conocer variabilidad y detectar estados dependientes del orden. Cada repetición conservará condición inicial. Reiniciar todo entre intentos sin registrarlo puede ocultar un problema de operación real.

El resultado incluirá configuración, hora, intervención, pérdidas, recuperación y estado final. Los hallazgos se relacionarán con inventario y procedimiento. La prueba de un dominio no autoriza afirmar tolerancia frente a otros que no fueron evaluados.

63.5 Caso de conmutación rápida con congestión posterior

Un ejemplo ficticio recupera el primer paquete en menos del objetivo interno, pero el enlace restante se congestiona durante varios minutos. El resumen basado solo en conmutación declara éxito; las transacciones muestran incumplimiento.

La revisión añade capacidad residual y estabilidad al criterio. Después de ajustar reserva y prioridades, repite falla y retorno con la carga completa. El acta distingue rapidez de cambio y capacidad de sostener el servicio.

63.6 Ensayo de pérdida de un acceso con carga de 32 Gb/s

El ejercicio empieza con ambos accesos sanos y 16 Gb/s en cada uno. Se acuerda la retirada del acceso A, la carga que migrará y los límites de parada. La sonda de continuidad, los generadores y la aplicación utilizan referencias temporales conocidas. La capacidad de B debe estar disponible antes de provocar la falla; no se crea durante la prueba.

1. Registrar configuración y carga inicial, incluyendo servicios ajenos al ensayo que puedan compartir el recurso.
2. Aplicar la falla autorizada en el punto que representa el escenario y mantener observación del plano de datos.
3. Verificar que B transporta los 32 Gb/s, que las clases conservan su tratamiento y que la aplicación completa operaciones correctas.
4. Observar recuperación estable y, después, el retorno a la condición prevista. Medir también cualquier segunda interrupción al reintroducir A.
5. Restituir el estado operativo y retirar condiciones temporales. Conservar cronología, tráfico y restricciones.

El muestreo de 10 sondas por segundo del taller de latencia no permite demostrar una conmutación de unos pocos milisegundos. Para esa exigencia se define un generador y una resolución adecuados, con secuencias y pérdida contadas durante el evento. El acta registra la resolución efectiva y evita publicar un tiempo más preciso que su método.

63.7 Distinguir niveles de recuperación en una investigación pública

En su análisis posterior del 19 de diciembre de 2024, RIPE Labs estudió los mismos incidentes con traceroute y distinguió cambios entre AS, dentro de un AS y a nivel de circuito. Esa separación permite plantear hipótesis sobre cómo se conserva conectividad cuando cambia un recurso. El estudio también describe efectos temporales alrededor de la reactivación y reconoce incertidumbre sobre sus causas. [227]

Para Faro se aplica la estructura de observación, no los valores del incidente externo. El ensayo registra qué recurso se retiró, qué plano reaccionó y qué función volvió. El retorno se observa como un evento propio. Una recuperación inicial favorable debe ir acompañada de capacidad y calidad en el estado sobreviviente y de una comprobación posterior al retorno.

63.8 Ruta de diagnóstico a partir de evidencia válida

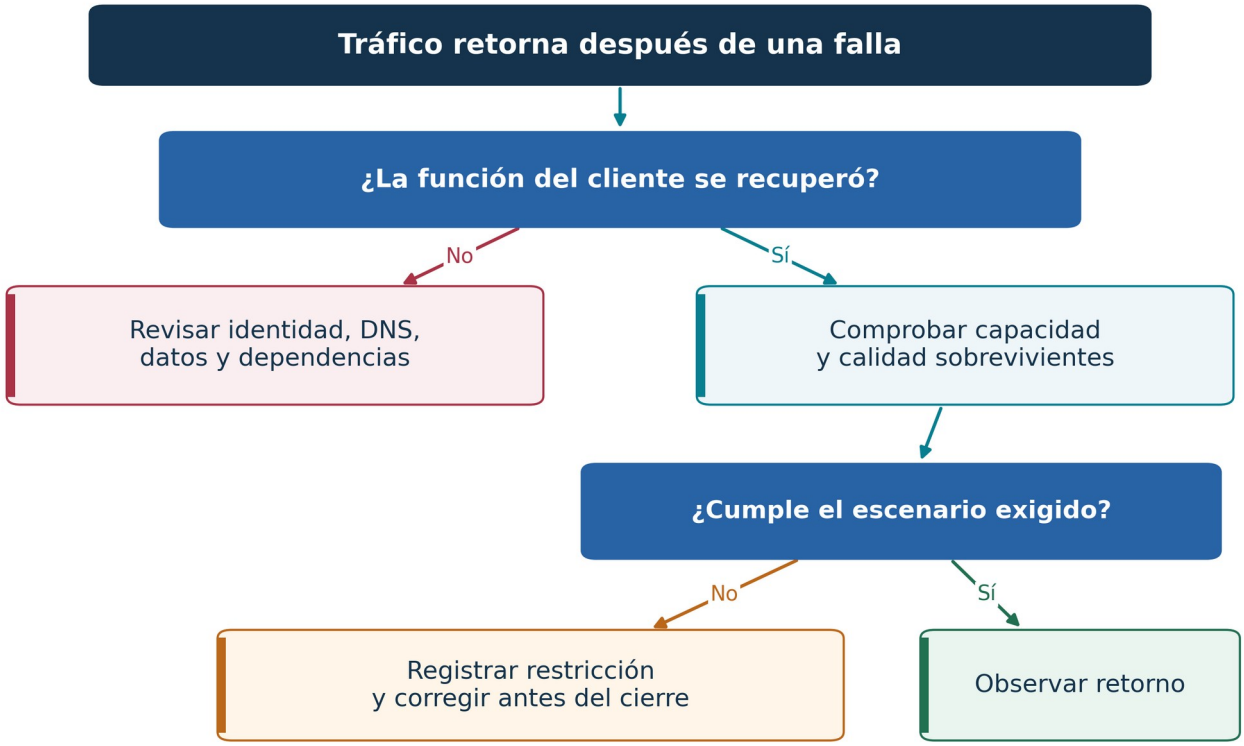


Figura 63.2. Tráfico retorna después de una falla. Elaboración propia; esquema didáctico.

Cada rama indica la siguiente comprobación dentro del alcance del capítulo. Registrar el dato que motiva el cambio de rama y conservar las hipótesis no resueltas. Si el montaje o el dato son inválidos, corregir esa condición antes de emitir una decisión sobre la instalación.

Entrega del capítulo. Cronología con carga recuperada y condición final.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿El respaldo está sano antes de comenzar?
2. ¿Se observa el plano de datos con resolución suficiente?
3. ¿La capacidad residual cubre la demanda?
4. ¿El retorno introduce otra interrupción?

Capítulo 64 Continuidad y recuperación de aplicaciones

Al terminar este capítulo, el lector podrá Relacionar recuperación de la función con red identidad y datos.

Términos esenciales. RTO = objetivo de tiempo de recuperación; RPO = objetivo del punto de recuperación de datos.

Recuperar conectividad es una condición de recuperación de aplicación, pero no garantiza que los datos sean consistentes ni que el usuario pueda operar. El plan debe relacionar red, cómputo, almacenamiento, identidad y decisiones humanas. Su objetivo se expresa en una función utilizable dentro de los tiempos y pérdidas de datos aceptados.

64.1 Definir RTO RPO y función mínima

RTO es el objetivo temporal de recuperación y RPO expresa el punto de datos al que se necesita recuperar, habitualmente relacionado con la pérdida temporal tolerable. El negocio y los responsables técnicos deben acordar alcance, evento inicial y criterio de finalización. NIST SP 800-34 Rev. 1 ofrece un marco de planificación de contingencia. [199]

RPO no equivale al intervalo configurado de réplica si hay retraso, fallas o copias inválidas. RTO no equivale al tiempo de encendido de un servidor. Debe medirse hasta que una transacción correcta pueda ejecutarse en el alcance declarado.

Se identificarán función mínima, usuarios prioritarios, capacidad durante recuperación y restricciones. Un sitio alterno puede recuperar primero un subconjunto de servicios. La secuencia debe corresponder a dependencias reales y evitar que aplicaciones arranquen antes de identidad o datos necesarios.

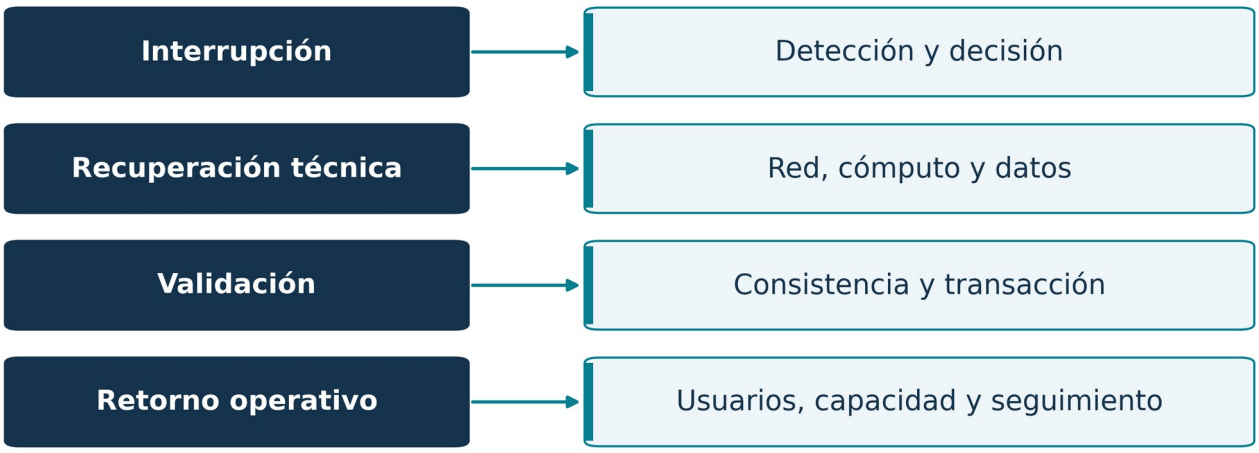


Figura 64.1. Recuperación hasta una función validada. La red forma parte de la secuencia junto con datos y operación. Elaboración propia.

64.2 Relacionar replicación consistencia y distancia

La replicación síncrona incorpora el tiempo y las condiciones de confirmación definidos por la solución; la asíncrona puede acumular retraso. Sus efectos dependen de la aplicación y del modo de

persistencia. Se verificarán especificaciones de la plataforma y carga real antes de comprometer objetivos.

El retardo del recorrido internacional o entre campus puede afectar confirmaciones y volumen replicado. Deben dimensionarse crecimiento, picos y recuperación del atraso. Una red que sostiene la tasa normal puede resultar insuficiente para ponerse al día después de una interrupción.

La decisión de promover una réplica necesita controles de consistencia y autoridad. Se evitarán estados de escritura simultánea incompatibles con el diseño. La conectividad entre sitios no decide por sí sola qué copia debe servir ni cómo reconciliar los cambios.

Tabla 64.1. Relacionar replicación consistencia y distancia

Dependencia	Pregunta de recuperación	Prueba
Red y DNS	¿Los usuarios alcanzan el destino correcto?	Resolución, rutas y políticas.
Identidad y claves	¿Pueden entrar usuarios y administradores?	Acceso autorizado sin el sitio perdido.
Datos	¿El estado recuperado es utilizable?	Consistencia y transacción validada.
Capacidad	¿Se sostiene la función mínima?	Carga durante recuperación y atraso.
Operación	¿Hay personas, accesos y proveedores?	Ejercicio y tiempos observados.

64.3 Preparar personas accesos y proveedores

El procedimiento tendrá responsables primarios y alternos, facultades de decisión, contactos y medios de comunicación disponibles durante la falla. Los accesos físicos y remotos deben funcionar sin depender exclusivamente del sitio afectado.

Se confirmarán capacidad contratada del alterno, licencias, repuestos y apoyo de terceros. La continuidad documental no garantiza disponibilidad inmediata de un técnico o transporte. Los compromisos de asistencia deben quedar relacionados con el escenario.

La evidencia de recuperación se conservará fuera del dominio que puede perderse, con protección y acceso apropiados. Los respaldos de configuración deben poder restaurarse; la existencia de archivos no demuestra que sean completos, compatibles o recientes.

64.4 Ejecutar y medir el ejercicio

Se parte de un guion con escenario, supuestos y límites. El ejercicio de mesa valida decisiones y coordinación; una prueba técnica controlada comprueba mecanismos; un ejercicio integrado relaciona ambos. Se declarará qué quedó simulado y qué se ejecutó realmente.

La cronología registrará detección, decisión, disponibilidad de dependencias, recuperación de datos y primera operación válida sostenida. Se conservarán dificultades, pasos manuales y tiempo de espera. Excluirlos del resultado puede ocultar la razón por la que el objetivo no se cumple.

El retorno al sitio original requiere su propio plan de sincronización, validación y comunicación. El estado del alterno y los cambios producidos durante la contingencia deben preservarse antes de restablecer el servicio habitual.

64.5 Caso de red recuperada y acceso bloqueado

En un caso ficticio, los enlaces del sitio alterno funcionan en veinte minutos, pero la aplicación tarda dos horas adicionales porque depende de un servicio de identidad del sitio caído. El RTO observado es el de la función completa y no veinte minutos.

La corrección añade una dependencia de identidad recuperable y prueba el acceso con el sitio original indisponible. La nueva línea base incluye tiempos de aplicación y red, responsables y evidencia de consistencia. El ejercicio cambia el diseño, además de generar un informe.

64.6 Cerrar el RTO en una operación válida

El Campus Faro define una función mínima de consulta autenticada sobre datos recuperados. Su RTO didáctico de ejercicio es 30 minutos y su RPO es 15 minutos. Son objetivos del caso; no son propiedades que garantice la conectividad. La validación incluye resolución de nombres, identidad, claves, consistencia y capacidad del destino.

La cronología distingue detección, decisión, recuperación de red, acceso a datos y primera operación validada. Si la red vuelve a los 20 minutos y la autenticación a los 34, la función incumple el RTO de 30 aunque el carrier haya restablecido su entrega. Para comprobar RPO se contrastan los datos recuperados con un origen temporal y operaciones conocidas; la frecuencia configurada de réplica no demuestra el punto realmente recuperable.

El cierre conserva la carga que el sitio alterno puede sostener y el tiempo para recuperar el atraso. La vuelta al sitio original requiere su propio plan para evitar conflictos de escritura y una nueva interrupción. El anexo J contiene una cronología cumplimentada del incidente de migración.

Entrega del capítulo. Escenario de continuidad con validación funcional.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿El RTO termina en una operación válida?
2. ¿El RPO se comprobó con datos recuperados?
3. ¿La capacidad permite recuperar el atraso?
4. ¿Identidad, claves y personal sobreviven al escenario?

Capítulo 65 Seguridad física y protección en tránsito

Al terminar este capítulo, el lector podrá Definir acceso y protección de información por tramo.

Términos esenciales. MACsec = protección en un enlace Ethernet; IPsec = protección de tráfico IP según su política.

La protección de conectividad combina acceso físico, autorización lógica, integridad y confidencialidad en tránsito. Un circuito privado puede reducir exposición, pero no permite suponer cifrado ni confianza automática en todos sus extremos. El diseño debe indicar qué amenaza trata cada control y dónde termina su protección.

65.1 Proteger salas paneles y trabajo físico

El acceso a MMR, distribución y rack se vinculará con identidad, orden y necesidad de intervención. Se registrarán acompañamiento, activos afectados y estado final. La revisión de permisos debe incluir terceros y bajas de personal, además de usuarios permanentes.

Las conexiones se realizarán contra una orden con extremos reconocidos y autorización del titular correspondiente. Las etiquetas y el inventario facilitan detectar una intervención equivocada. Fotografías y registros deben protegerse según su sensibilidad, sin impedir la recuperación autorizada.

La seguridad física también incluye capacidad de advertir manipulación, apertura o cambios de recorrido según el diseño. No debe prometerse que una fibra es imposible de intervenir. La protección en tránsito aporta una defensa distinta frente al acceso al medio.

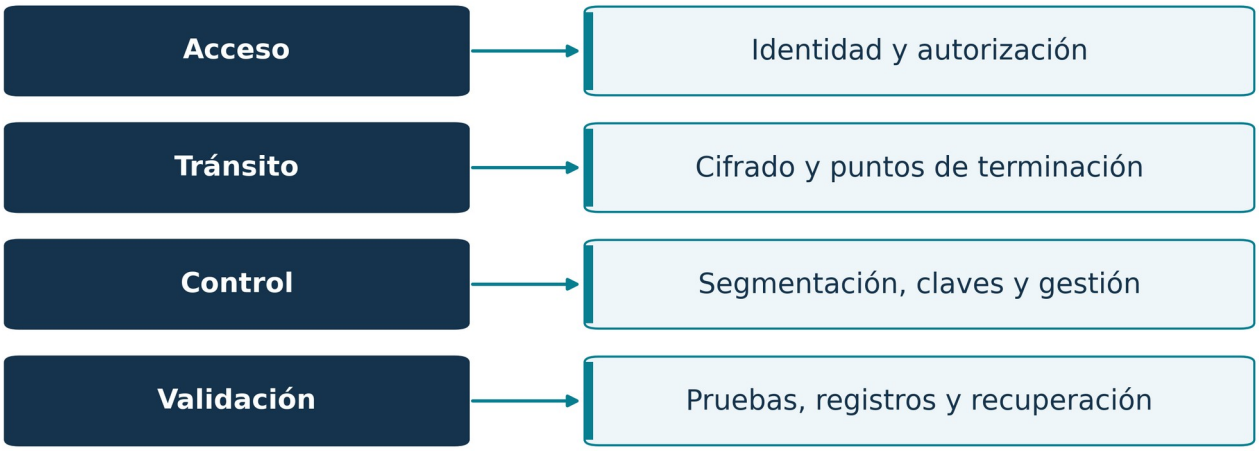


Figura 65.1. Controles de conectividad. Cada protección tiene límites y puntos de terminación. Elaboración propia.

65.2 Elegir la capa de protección en tránsito

MACsec, IEEE 802.1AE, protege comunicación de nivel MAC entre pares bajo su arquitectura. IPsec protege tráfico en la capa IP y puede terminar en hosts o gateways según el diseño. El plano debe mostrar los pares y segmentos cubiertos, no limitarse a marcar toda la ruta con la palabra cifrado. [200, 201]

El cifrado óptico de línea depende de funciones y extremos de la solución instalada. TLS protege sesiones entre puntos de terminación de aplicación; si termina en un balanceador, el tramo siguiente necesita su propio análisis. Las capas pueden combinarse con propósitos diferentes.

Se comprobarán capacidad, MTU, latencia y comportamiento ante fallas con el cifrado habilitado. El rendimiento declarado sin protección no demuestra prestación del servicio protegido. También se verificarán políticas frente a pérdida de negociación o de claves.

Tabla 65.1. Elegir la capa de protección en tránsito

Control	Alcance que debe dibujarse	Prueba de aceptación
Acceso físico	Salas, racks y paneles autorizados.	Orden, identidad y registro de intervención.
MACsec o IPsec	Pares y tránsito protegido.	Negociación, tráfico y fallo de claves.
TLS	Terminación de sesión y siguiente tramo.	Identidad, cadena y operación correcta.
Segmentación	Sujetos, recursos y flujos permitidos.	Accesos permitidos y denegados.
Gestión	Administradores y camino de recuperación.	Autenticación, trazabilidad y contingencia.

65.3 Gestionar identidad claves y segmentación

NIST SP 800-207 plantea que la ubicación de red no concede confianza implícita. La autorización debe relacionarse con sujetos, dispositivos y recursos. El proyecto traducirá esa idea en políticas y controles concretos, sin usar la etiqueta zero trust como sustituto de una arquitectura comprobable. [202]

Las claves y certificados tendrán responsables, custodia, renovación y recuperación. Se ensayarán vencimiento o rotación de forma controlada, y el comportamiento previsto si un mecanismo falla. Una copia de seguridad sin las claves necesarias puede resultar inutilizable.

La segmentación distinguirá clientes, producción, almacenamiento, gestión y sistemas del edificio según requisitos. Las excepciones se documentarán y revisarán. Se comprobará tanto conectividad permitida como denegación esperada, incluyendo rutas alternativas y accesos remotos.

65.4 Proteger borde y administración

El borde necesita controles de rutas y sesiones, filtrado y coordinación con carriers. La mitigación de DDoS debe considerar dónde se absorbe el tráfico: un firewall local no recupera capacidad de un acceso ya saturado. Se definirán activación, contactos y efecto sobre servicios legítimos.

La administración usará cuentas identificadas, privilegios adecuados y registros. Los caminos de emergencia tendrán controles y prueba periódica. La recuperación no debe depender de una única plataforma de identidad que desaparece con el incidente que pretende resolver.

Los ensayos de seguridad se ejecutarán con alcance autorizado y criterios de parada. Se conservarán hallazgos, corrección y repetición, relacionándolos con disponibilidad. Un control que bloquea al operador durante una falla también necesita tratamiento.

65.5 Caso de cifrado que deja un tramo expuesto

Un ejemplo ficticio declara protegida una conexión internacional porque utiliza TLS hasta el balanceador del data center. El plano revela que la aplicación y el almacenamiento siguientes usan conexiones diferentes. La revisión identifica qué datos cruzan cada tramo y qué controles necesitan.

El equipo ajusta la arquitectura y repite transacción, rendimiento y recuperación de certificados. El expediente describe límites de protección y responsables. La declaración final corresponde a los puntos realmente verificados.

65.6 Mapa de protección y rendimiento del servicio

La ficha del campus dibuja dónde comienzan y terminan TLS, IPsec o MACsec cuando forman parte del diseño. El tramo entre un balanceador que termina TLS y su backend requiere su propia decisión de protección. También se identifican custodia, renovación y recuperación de claves, con responsables y acceso durante contingencias.

El ensayo de aceptación repite capacidad, MTU, latencia y funcionamiento con los controles habilitados. Un máximo de transferencia obtenido con cifrado desactivado no representa la prestación protegida. Para DDoS se revisa dónde se aplica la mitigación respecto del acceso que podría saturarse y qué capacidad queda disponible para el tráfico legítimo. La prueba de seguridad conserva autorización, alcance y condiciones de parada.

Entrega del capítulo. Mapa de extremos criptográficos y prueba de recuperación.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Dónde empieza y termina cada cifrado?
2. ¿Se probó rendimiento con controles habilitados?
3. ¿Quién renueva y recupera claves?
4. ¿La mitigación ocurre antes del acceso saturado?

Capítulo 66 Crisis y reparación con varios operadores

Al terminar este capítulo, el lector podrá Coordinar la respuesta entre operadores y responsables.

Términos esenciales. Escalamiento = traslado de una decisión a la autoridad competente; contingencia = condición de respuesta prevista.

Una crisis de conectividad puede atravesar varios operadores y límites de responsabilidad. La recuperación requiere una visión común del impacto, evidencia comparable y decisiones coordinadas. El responsable del servicio debe integrar las actuaciones sin esperar que cada proveedor conozca toda la cadena del cliente.

66.1 Activar una coordinación con funciones claras

La organización designará coordinación del incidente, liderazgo técnico, comunicación y enlace con proveedores. Cada función tendrá alterno y canal disponible durante una interrupción. El objetivo inicial es conocer impacto y proteger la capacidad de recuperación.

Se abrirá un registro único de cronología y decisiones, relacionado con tickets de cada operador. El identificador del servicio y sus demarcaciones deben acompañar la escalación. Describir solo internet lento puede retrasar la asignación al tramo y equipo correctos.

NIST SP 800-61 Rev. 3, publicada en abril de 2025, integra respuesta a incidentes de ciberseguridad con gestión de riesgos. Sus ideas de preparación, detección, respuesta y recuperación sirven como referencia de coordinación; la reparación física de un cable necesita además procedimientos específicos del operador. [203]

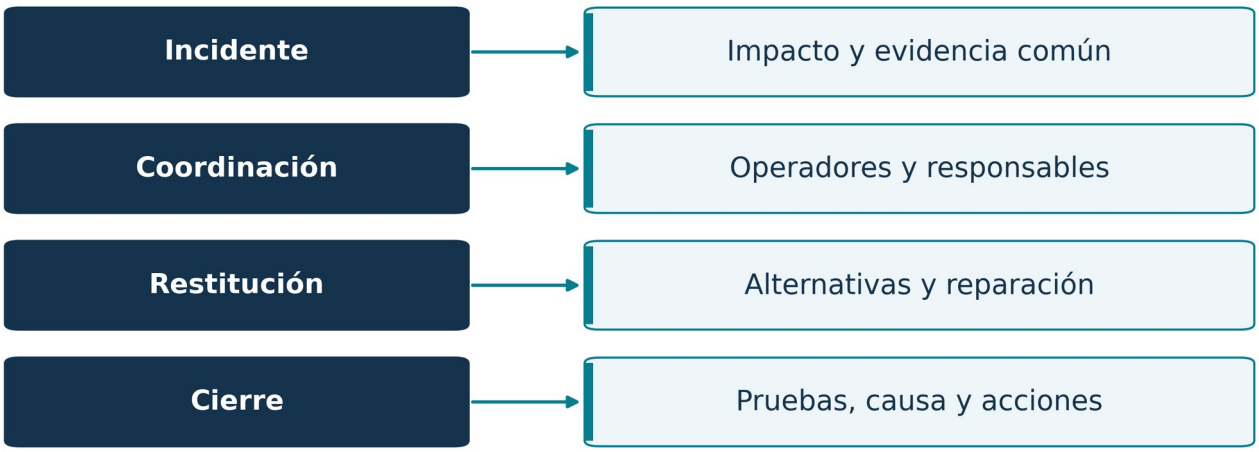


Figura 66.1. Coordinación de una crisis. El cierre integra restitución, prueba y acciones posteriores. Elaboración propia.

66.2 Construir una evidencia compartida

La ficha inicial incluirá inicio observado, servicios y destinos afectados, sentido, carga, pérdida, retardo y alarmas. Se diferenciará hecho confirmado de hipótesis. La hora usará zona y precisión conocidas para correlacionar sistemas.

Las partes acordarán puntos de prueba y ventanas. Una evidencia local al rack y otra entre terminales del carrier pueden ser ambas correctas y cubrir alcances distintos. El dibujo de demarcaciones permite ver el segmento que falta observar.

Antes de reiniciar o cambiar configuración se preservarán datos útiles cuando las condiciones lo permitan. Las acciones se registrarán con responsable y efecto. Cambios simultáneos sin coordinación pueden eliminar pistas o provocar un segundo incidente.

Tabla 66.1. Construir una evidencia compartida

Momento	Decisión	Registro
Inicio	Clasificar impacto y activar responsables.	Cronología y servicios afectados.
Diagnóstico	Aislar alcances y contrastar hipótesis.	Pruebas, alarmas y tickets.
Restitución	Usar alternativa o reparar.	Autorización, capacidad y riesgo.
Estabilización	Confirmar servicio sostenido.	Tráfico, transacciones y vigilancia.
Cierre	Explicar causa y evitar repetición.	Informe, responsables y fechas.

66.3 Gestionar alternativas y reparación prolongada

La alternativa se evaluará por destinos, capacidad, seguridad y prestaciones. Puede requerir reducir trabajos no críticos y priorizar una función mínima. El responsable del servicio decidirá el efecto aceptable; el carrier no siempre conoce esas prioridades.

En fallas submarinas o de planta exterior, la reparación depende de acceso, localización, recursos especializados y condiciones operativas. Se distinguirá estimación de recuperación de compromiso confirmado. La comunicación explicará el alcance conocido y el siguiente hito de información.

Una restitución temporal puede usar otra ruta y presentar retardo o riesgo diferente. Se registrará la desviación y su plazo de revisión. El regreso a la ruta original se tratará como un cambio con pruebas y posibilidad de retorno.

66.4 Comunicar y cerrar con una causa sustentada

Los mensajes al cliente indicarán impacto, medidas aplicadas y próxima actualización bajo el protocolo acordado. Deben evitar causas no confirmadas y tiempos presentados como seguros cuando son estimaciones. El detalle técnico se adaptará al destinatario sin perder precisión.

La restitución se confirmará por servicio y aplicación, además del estado de interfaces. Después se completarán pruebas de reparación, actualización de margen y planos. La recuperación del tráfico y el cierre de una no conformidad documental son hitos diferentes.

El análisis de causa distinguirá evento desencadenante, condiciones que amplificaron impacto y fallas de detección o respuesta. Cada acción tendrá responsable y criterio de cierre. Atribuir todo a error humano deja sin tratar permisos, procedimiento o diseño que hicieron posible el daño.

66.5 Caso de operadores que miden segmentos distintos

Un caso ficticio enfrenta informes favorables de dos carriers mientras una aplicación internacional falla. El coordinador dibuja puntos de prueba y descubre que ninguno incluye la cross connect de transferencia entre sus dominios. Una medida conjunta identifica la discontinuidad.

La reparación recupera tráfico y el expediente añade responsabilidad del punto de transferencia. El cierre actualiza escalaciones y obliga a conservar un mapa común. La coordinación resuelve el vacío que no aparecía en los informes individuales.

66.6 Coordinación de un incidente entre dominios

El coordinador del ejercicio mantiene un registro común de hechos, hipótesis, decisiones y responsables de prueba. Alfa aporta su alcance, Beta el alternativo y el data center los segmentos interiores. Se dibujan los puntos de transferencia antes de comparar informes. Dos resultados favorables pueden cubrir segmentos separados y dejar entre ellos una cross connect sin evaluar.

La comunicación al cliente distingue servicio restituido, reparación física en curso y reserva aún no recuperada. Un cierre de ticket de obra no cierra el incidente funcional si falta validar la transacción. El informe posterior asigna acciones con evidencia y fecha, y actualiza el expediente que se utilizará en el siguiente evento.

Entrega del capítulo. Cronología compartida y plan de restitución y cierre.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Quién integra tickets y decisiones?
2. ¿Hay un tramo sin responsable de prueba?
3. ¿La ruta temporal cumple la función mínima?
4. ¿Las acciones posteriores tienen responsable y evidencia?

Parte 12 Operación y automatización

La operación conserva el estado aceptado y controla sus modificaciones. Inventario, observabilidad, gestión fuera de banda, procedimientos, automatización y competencias sostienen ese trabajo.

Capítulo 67 Observabilidad y diagnóstico

Al terminar este capítulo, el lector podrá Construir observación que distinga ausencia de dato y valor cero.

Términos esenciales. Telemetría = datos de estado y desempeño; observabilidad = capacidad de comprender el estado con evidencia.

La observabilidad debe ayudar a explicar el estado del servicio y elegir una acción. Reunir miles de métricas sin identidad, tiempo y contexto puede aumentar el ruido. El sistema necesita relacionar infraestructura, red y aplicación, conservando la cobertura y calidad de cada fuente.

67.1 Construir un mapa de señales por capa

La infraestructura aporta temperatura, alimentación, potencia óptica, errores y estado de puertos. La red añade rutas, vecinos, colas, descartes y flujos. El servicio incorpora sondas activas y compromisos; la aplicación aporta transacciones, errores y recursos.

Cada señal tendrá nombre, unidad, objeto, método, período y responsable. Un contador acumulado se convierte en tasa usando diferencias y tiempo; un reinicio puede invalidar esa operación. Los datos ausentes deben distinguirse de un valor cero.

La identidad debe vincular puerto con circuito y cliente, sin confundir múltiples servicios sobre una interfaz. Un cambio de nombre o sustitución de equipo conservará relación histórica. El inventario proporciona el contexto que la telemetría aislada no conoce.

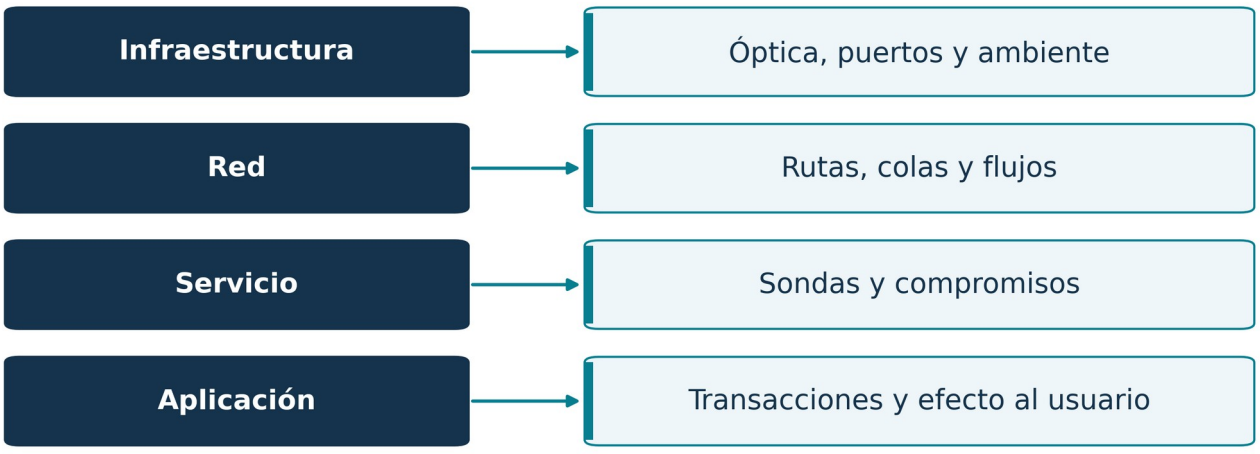


Figura 67.1. Capas de observación. Las señales se correlacionan con objetos y servicios identificados. Elaboración propia.

67.2 Recoger métricas registros flujos y trazas

Las métricas describen magnitudes; los registros ayudan a reconstruir eventos; los flujos resumen conversaciones según el método; las trazas de aplicación relacionan operaciones. Su combinación debe respetar muestreo, precisión temporal y cobertura.

OpenTelemetry explica correlación de spans para observar operaciones distribuidas. Esta evidencia puede relacionarse con sondas de red mediante tiempo e identificadores, pero una traza de aplicación no muestra por sí sola el recorrido físico de la fibra. [195]

La recolección por consulta y por suscripción tiene distintos comportamientos. Se documentarán intervalo, agregación, pérdida de muestras y capacidad del colector. Solicitar más frecuencia de la que equipos y plataforma pueden sostener puede perjudicar gestión sin mejorar la evidencia.

Tabla 67.1. Recoger métricas registros flujos y trazas

Señal	Uso	Control de calidad
Contadores	Tasas, errores y pérdidas.	Reinicio, ancho y ventana.
Logs	Cronología de eventos.	Reloj, retención y duplicados.
Flujos	Origen, destino y distribución.	Muestreo y alcance del exportador.
Sondas	Prestación entre puntos.	Carga, protocolo y validez.
Trazas	Tiempo de operaciones.	Contexto, muestreo y cobertura.

67.3 Establecer línea base y alarmas accionables

La línea base se segmentará por horario, carga y estado de ruta. Un cambio respecto del comportamiento habitual puede ser útil aunque aún no cruce el límite contractual. Debe distinguirse umbral de aviso, degradación y condición de incumplimiento.

La alarma tendrá impacto, dueño y procedimiento. Se definirán persistencia, histéresis y correlación para evitar oscilaciones o cascadas sin tratar. Suprimir una alarma durante mantenimiento requiere plazo y registro; no debe desaparecer indefinidamente.

Las notificaciones se probarán hasta quien actúa, incluyendo turnos y medios alternos. Una alerta que existe en una consola sin atención no cumple la función operativa. También se medirá disponibilidad de la plataforma de supervisión.

67.4 Diagnosticar mediante hipótesis contrastables

Se comenzará por alcance del síntoma: clientes, destinos, dirección y período. Se compararán capas y dominios para elegir una prueba que reduzca incertidumbre. El resultado quedará asociado con hipótesis y siguiente acción.

Un deterioro de pre FEC junto con eventos de línea orienta a transmisión; descartes y cola con potencia estable orientan a congestión; demora de aplicación con sonda de red estable orienta a dependencias del host o servicio. Son indicios que necesitan contraste, no reglas infalibles.

La predicción estadística debe evaluarse con datos, falsos positivos y cambios de contexto. Un modelo que anticipa anomalías no demuestra la causa ni garantiza evitar fallas. La automatización de respuesta necesita límites y posibilidad de intervención.

67.5 Caso de cero que significaba falta de datos

Un ejemplo ficticio muestra cero pérdida durante una falla porque el colector dejó de recibir datos y el tablero rellenó el intervalo con ceros. La aplicación y las alarmas del borde contradicen el gráfico. La revisión encuentra ausencia de muestras, no una red perfecta.

Se corrige el tratamiento de datos ausentes, se añade vigilancia de recolección y se revisan informes afectados. La línea base conserva validez por período. El resultado mejora la confianza del diagnóstico y de los indicadores comerciales.

67.6 Tablero de observación del Campus Faro

El tablero relaciona circuito, interfaz, fibra y aplicación. Sus datos incluyen potencia y errores del terminal, descartes y colas, tasa por clase, sondas con pérdidas y resultado de la transacción. Cada serie registra unidad, periodo, origen y estado de validez. Un colector sin muestras no produce una serie de ceros.

Una alarma identifica qué condición requiere actuar, quién recibe el aviso y qué prueba permite contrastarla. Se verifica la recepción durante la pérdida del camino de producción. Los picos y las muestras ausentes se conservan con la resolución de origen cuando la retención lo permite; el promedio del tablero no reemplaza el archivo de ensayo que sustenta una aceptación.

Entrega del capítulo. Alarmas con acción responsable y validación de llegada.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Cero y ausencia de dato se distinguen?
2. ¿Cada alarma tiene una acción y dueño?
3. ¿El reloj permite correlacionar capas?
4. ¿La supervisión sobrevive a la falla de producción?

Capítulo 68 DCIM y representación digital de la conectividad

Al terminar este capítulo, el lector podrá Mantener una representación útil de recursos y servicios.

Términos esenciales. DCIM = gestión de infraestructura del data center; fuente de verdad = registro de referencia acordado.

La representación digital de conectividad debe permitir seguir un servicio por sus recursos físicos y lógicos. DCIM, inventario de red y plataformas de gestión pueden aportar partes de ese modelo. Su utilidad depende de relaciones correctas, estados claros y una actualización que acompañe al trabajo de campo.

68.1 Definir objetos y relaciones útiles

El modelo diferenciará sitio, edificio, sala, rack, equipo, interfaz, panel, puerto, cable y fibra. Sobre ellos se relacionarán circuitos, servicios y clientes. Un puerto libre en el modelo no estará disponible si mantiene una reserva vigente o si falta una condición física para utilizarlo.

Los paneles necesitan correspondencia entre cara frontal, posterior y fibras del troncal. NetBox ofrece objetos de cable y puertos de paso que ilustran cómo representar esas relaciones. Es un ejemplo de modelado; el proyecto debe incluir además los datos de ruta, prueba y responsabilidad que requiera. [140]

El identificador estable se mantendrá aunque cambie la etiqueta visible o la ubicación de un equipo. Las relaciones tendrán fecha y evidencia. Se distinguirán datos observados, previstos y declarados por terceros para no presentar un diseño como estado construido.

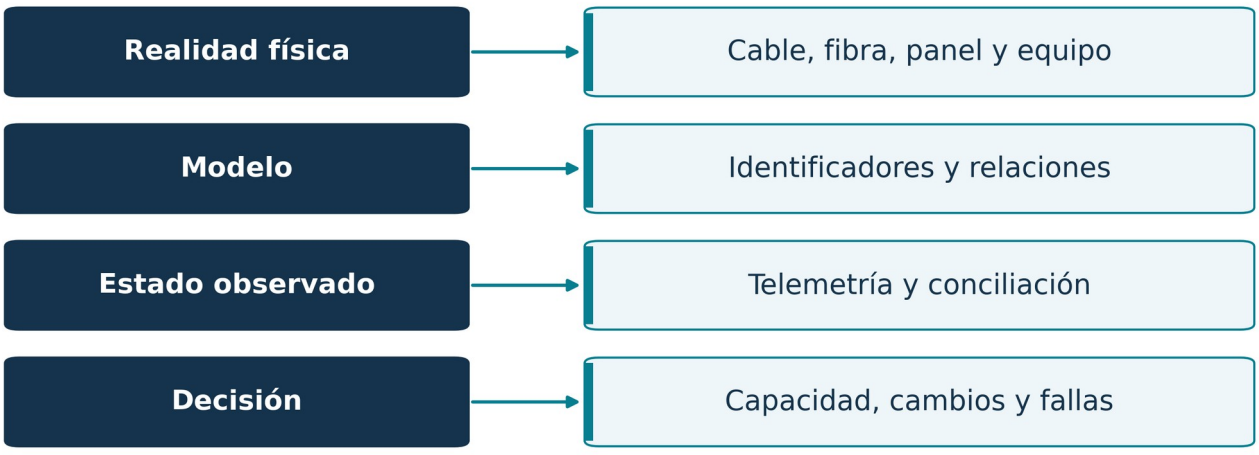


Figura 68.1. Modelo y realidad de conectividad. La conciliación mantiene útiles las decisiones de capacidad y falla. Elaboración propia.

68.2 Separar inventario, configuración y telemetría

El inventario describe recursos y relaciones; la configuración expresa intención técnica aplicada; la telemetría observa estado. Pueden discrepar. Un puerto configurado no demuestra que el cable llegue al panel documentado, y una interfaz activa no revela todos sus empalmes.

Se establecerá una fuente autorizada para cada dato y un mecanismo de conciliación. La importación automática validará identificadores, unidades y fecha. Las inconsistencias tendrán responsable y no se resolverán sobrescribiendo silenciosamente la evidencia más antigua.

Los estados físicos, administrativos y comerciales se mantendrán separados. Instalado, probado, reservado, conectado y facturable no son sinónimos. La transición entre ellos necesitará un evento y una prueba o autorización pertinente.

Tabla 68.1. Separar inventario configuración y telemetría

Relación	Uso operativo	Evidencia de actualización
Fibra a puerto	Orden y diagnóstico.	Mapa y comprobación de correspondencia.
Ruta a dominio	Análisis de impacto.	Plano y riesgo compartido.
Interfaz a servicio	Incidente y capacidad.	Orden y configuración.
Equipo a energía	Falla y mantenimiento.	Circuito y distribución identificados.
Activo a resultado	Aceptación y reparación.	Archivo y versión de línea base.

68.3 Representar dependencias y capacidad

La consulta de impacto debe mostrar qué clientes dependen de un cable, tarjeta o dominio eléctrico. También debe indicar relaciones desconocidas. Un análisis automático solo es tan completo como el modelo que utiliza; su pantalla no constituye evidencia independiente de separación física.

La capacidad se calculará por dominio y recurso: fibras aptas, puertos, bandejas, espacio, energía, refrigeración y licencias. Las reservas tendrán titular y vencimiento. Una capacidad agregada puede ocultar que el único recurso libre está en el dominio equivocado.

Un gemelo digital puede incorporar simulación o comportamiento, pero esa denominación requiere definir fidelidad y validación. Un dibujo conectado al inventario sigue siendo valioso sin atribuirle capacidades predictivas que no se han comprobado.

68.4 Mantener la calidad, el historial y el acceso

La orden de trabajo incluirá actualización de modelo como parte del cierre. Se harán conciliaciones selectivas de campo y revisión de discrepancias. Los indicadores de calidad medirán relaciones sin evidencia, reservas vencidas y cambios pendientes, además de cantidad de objetos.

Se conservará historia de ubicación, conexión y configuración relevante. El acceso se limitará por función y se registrarán modificaciones. El modelo contiene información sensible y necesita respaldo y recuperación fuera del dominio que documenta.

En un caso ficticio se ofrece un par libre que una orden previa había reservado sin actualizar el inventario. La provisión colisiona. La corrección integra reservas y cierre de órdenes, con una revisión de concurrencia antes de asignar; el modelo pasa a representar compromisos reales.

68.5 Relaciones del inventario y prueba de impacto

El ejemplo vincula el acceso XC-A-0001 con sus recursos y registra una reserva de ampliación por separado. La tabla distingue lo ocupado, lo reservado y lo previsto; estas condiciones no se deducen de que un puerto aparezca activo en telemetría. Los registros son didácticos y no constituyen un levantamiento de campo.

Tabla 68.2. Registro de relaciones y estados del inventario

Objeto	Relación y estado del ejemplo	Control y evidencia
XC-A-0001	Conexión del operador Alfa a distribución del dominio A; relacionada con servicio, extremos y prueba.	Orden, mapa y archivo de prueba vinculados por ID.
ODF y puerto	Se identifican los dos extremos del inventario del acceso; frente y reverso conservan correspondencia.	Consulta desde el servicio hacia el recurso y en sentido inverso.
Troncal y fibras	La ruta a E01 conserva cable, fibras y dominio. La demanda y reserva se calculan en cada segmento.	Plano de fibras, estado físico y cobertura de pruebas.
AMP-P01	Puerto ficticio de una ampliación: reservado por OT-68-01 hasta la fecha de la orden; todavía no instalado.	La reserva incluye titular, vigencia y versión; no aparece como capacidad instalada.
OT-68-02	Nueva petición que intenta utilizar AMP-P01. Debe quedar sin asignación mientras exista el conflicto.	Comprobación indivisible antes de confirmar la reserva.
Cambio concluido	Después de intervenir se concilian campo, configuración, prueba y estado comercial.	Cierre de orden y nueva versión de relaciones; historial conservado.

La consulta de impacto comienza por el recurso que se pretende intervenir y enumera las conexiones y servicios relacionados. Si una relación es desconocida, el informe la conserva como tal. Una lista vacía no demuestra ausencia de impacto cuando el modelo está incompleto.

Para resolver la colisión de AMP-P01 se comprueba la vigencia y titularidad de OT-68-01. La orden OT-68-02 no se confirma ni desplaza la reserva anterior. Su responsable decide si corresponde esperar, usar otro recurso apto o cancelar la reserva previa mediante una autoridad y un registro explícitos. La liberación y la nueva asignación deben quedar conciliadas antes de instalar.

En el kit, casos_editoriales/inventario_68.csv reproduce este registro y casos_editoriales/reservas_68.csv conserva las dos solicitudes. Son escenarios documentales añadidos a la edición; los archivos originales de datos FARO-R2 no cambian.

Entrega del capítulo. Modelo con relaciones versiones y conciliación de campo.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué fuente gobierna cada dato?
2. ¿El modelo distingue previsto de instalado?
3. AMP-P01 figura reservado por OT-68-01 y aún no está instalado. OT-68-02 solicita el mismo puerto. ¿Qué decisión toma, qué información comprueba y qué registro permite cerrar el conflicto?
4. ¿Un cambio físico actualiza servicio y evidencia?

Capítulo 69 Gestión fuera de banda y redes del edificio

Al terminar este capítulo, el lector podrá Conservar capacidad de gestión durante una falla de producción.

Términos esenciales. OOB = gestión fuera de banda; dependencia = recurso necesario para una función.

La gestión fuera de banda debe permitir recuperar equipos cuando el camino de producción no funciona. Las redes del edificio sostienen supervisión y control de energía, climatización y seguridad. Ambas requieren conectividad documentada, pero sus funciones y consecuencias deben tratarse de forma específica.

69.1 Diseñar un acceso de recuperación completo

El plano de fuera de banda incluirá acceso remoto, autenticación, transporte, switches de gestión, consolas y alimentación. La independencia debe evaluarse de extremo a extremo: un módem alterno no resuelve una consola alimentada desde el mismo recurso que falló.

Se identificarán dependencias de DNS, identidad, tiempo y claves. El mecanismo de emergencia debe estar autorizado, protegido y probado con producción inaccesible. Los privilegios temporales y las acciones quedarán registrados para revisión posterior.

La consola y el puerto de administración tienen alcances diferentes. La consola puede permitir recuperar una configuración de red equivocada; un puerto IP de gestión sigue necesitando su propia conectividad. El procedimiento indicará qué camino se usa en cada escenario.

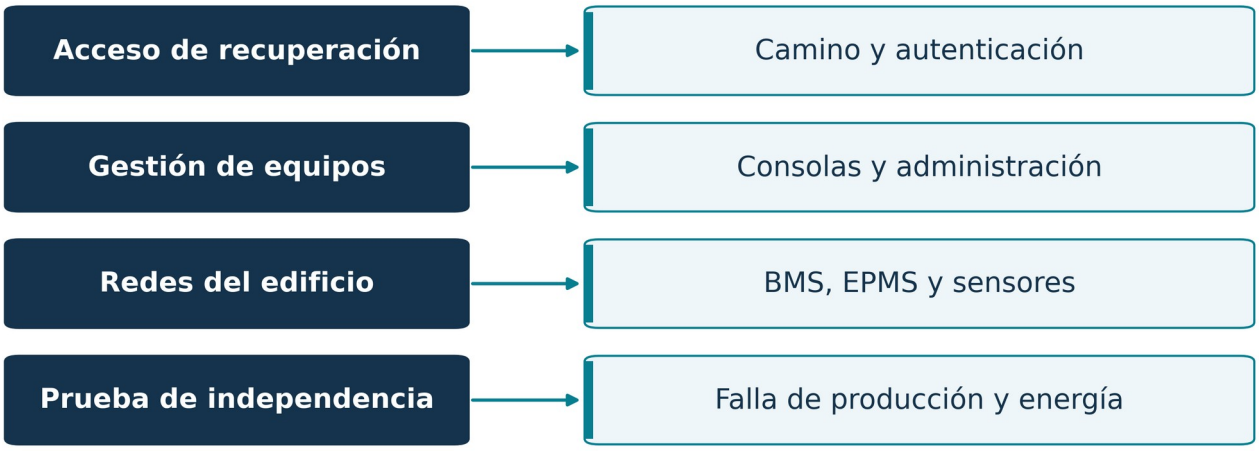


Figura 69.1. Recuperación y redes del edificio. La prueba evalúa dependencias y funciones que deben sobrevivir. Elaboración propia.

69.2 Inventariar sistemas de supervisión y control

BMS, EPMS y DCIM pueden integrar información de instalaciones, electricidad y recursos del data center con alcances que dependen del producto. Se registrarán servidores, gateways, controladores, sensores y protocolos, junto con quién administra y quién puede ordenar cambios.

CCTV y control de acceso también necesitan rutas, puertos, alimentación y políticas. Un dispositivo PoE puede perder servicio por una falla del switch o del suministro aguas arriba. Se evaluará si existe grabación, control o funcionamiento local durante la pérdida de red.

La pérdida de supervisión no implica necesariamente pérdida inmediata de control local. El proyecto debe documentar cómo reacciona cada sistema, qué funciones son autónomas y qué acciones remotas dejan de estar disponibles. Esa diferencia necesita prueba y documentación del fabricante.

Tabla 69.1. Inventariar sistemas de supervisión y control

Función	Dependencia que se revisa	Prueba propuesta
Administración IP	Ruta, identidad y energía.	Acceso con producción indisponible.
Consola	Servidor de consolas y transporte.	Recuperación de un equipo controlado.
BMS y EPMS	Controladores, gateways y servidores.	Alarma y operación local previstas.
CCTV y acceso	PoE, grabación y permisos.	Comportamiento durante pérdida de red.
Sensores	Alimentación y comunicación.	Detección de dato ausente y retorno.

69.3 Separar proteger y mantener sistemas del edificio

NIST SP 800-82 Rev. 3 trata seguridad de tecnología operacional, incluida automatización de edificios, considerando disponibilidad, rendimiento y seguridad física. En noviembre de 2026 existe un borrador de revisión 4; debe distinguirse ese borrador del texto final de 2023. [204]

La segmentación limitará flujos entre gestión, clientes y control del edificio. Los accesos de mantenimiento de fabricantes tendrán autorización, duración y registros. Las actualizaciones y exploraciones técnicas deben considerar compatibilidad e impacto sobre dispositivos que controlan procesos físicos.

Las pruebas seguirán procedimientos del sistema y personal competente. No se utilizará una prueba de red como motivo para desactivar protecciones de instalaciones. El alcance autorizado y la observación de funciones se acordarán con los responsables de operación.

69.4 Comprobar fallas retorno y documentación

El plan verificará pérdida del camino de producción, de un acceso de gestión y de los recursos que el diseño pretende tolerar. Debe observar autenticación, consola, alarmas y capacidad de actuar. El retorno comprobará sincronización, datos acumulados y eliminación de accesos temporales.

Se conservarán diagramas, direcciones, credenciales bajo custodia adecuada y contactos de soporte. La información de emergencia debe ser accesible durante el incidente y mantenerse actualizada. Un procedimiento impreso con una dirección antigua puede bloquear la recuperación.

En un caso ficticio el acceso remoto alterno funciona, pero la autenticación consulta un servidor solo accesible por producción. El ejercicio descubre la dependencia antes de una crisis. Se implementa y prueba un mecanismo de recuperación autorizado que mantiene trazabilidad.

69.5 Recuperación fuera de banda bajo la falla prevista

El acceso de administración del campus se prueba con la producción inaccesible y con las dependencias relevantes retiradas según el escenario autorizado. La comprobación incluye energía, transporte, autenticación, DNS si se utiliza y consola cuando se necesita recuperar un equipo sin acceso IP. Un puerto llamado gestión no acredita independencia.

Los controladores del edificio conservan su comportamiento local previsto cuando se pierde supervisión. La prueba de conectividad no se utiliza para desactivar protecciones o alterar procesos físicos ajenos a su alcance. Se verifica llegada de alarmas y acceso de recuperación junto a los responsables del sistema, con credenciales de emergencia bajo custodia y registro.

Entrega del capítulo. Plano y prueba de acceso de emergencia.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La independencia incluye energía e identidad?
2. ¿Se distingue supervisión de control local?
3. ¿Los accesos de terceros tienen plazo?
4. ¿El procedimiento se probó con producción caída?

Capítulo 70 Procedimientos y disciplina operativa

Al terminar este capítulo, el lector podrá Escribir procedimientos con verificación parada y retorno.

Términos esenciales. SOP = procedimiento operativo normal; MOP = método de una intervención.

Los procedimientos convierten un diseño aceptado en una operación repetible. Deben guiar una tarea concreta, mostrar cuándo detenerse y dejar evidencia del resultado. Su calidad se comprueba al ejecutarlos con personal competente sobre la configuración real, incluyendo las condiciones de retorno.

70.1 Distinguir operación mantenimiento y emergencia

En este libro, SOP designa un procedimiento de operación habitual; MOP, un método de trabajo para una intervención planificada; EOP, una respuesta de emergencia. La organización puede usar otros nombres, pero debe conservar propósito, responsables y control de versiones.

Cada documento identificará alcance, activos y servicios, prerrequisitos, herramientas, competencias y autorización. Se señalarán riesgos específicos del trabajo y controles pertinentes. Un procedimiento genérico de cambiar fibra no basta para una intervención que puede afectar ambos dominios de un cliente.

El ejecutor debe poder reconocer el estado inicial y el resultado de cada paso. Las instrucciones evitarán expresiones ambiguas como revisar que esté bien. Se indicará qué observar, dónde y qué condición permite continuar.

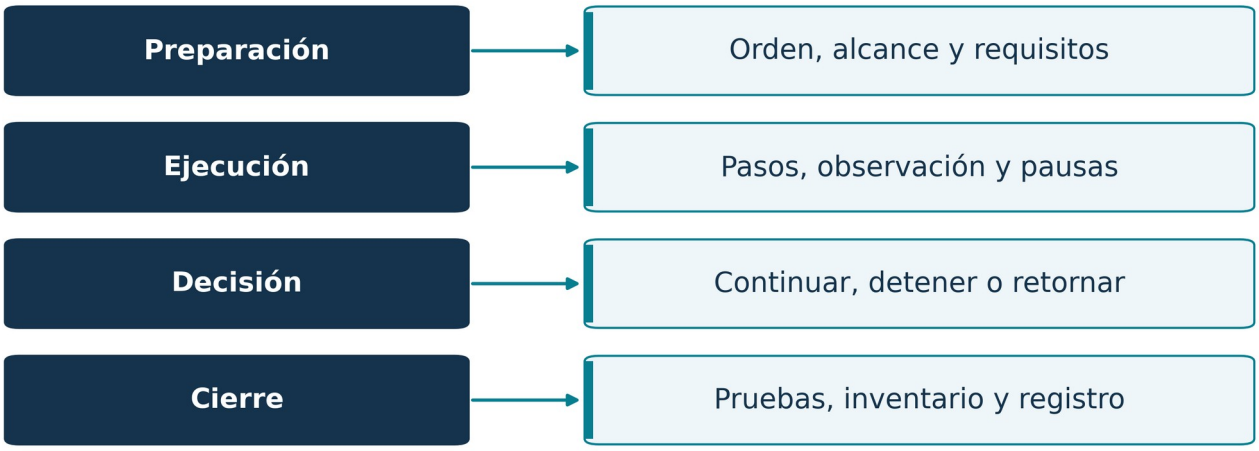


Figura 70.1. Disciplina de una intervención. Preparación, decisión y cierre forman parte del trabajo. Elaboración propia.

70.2 Preparar ventana y retorno

La ventana relacionará cliente, data center y carrier, con contactos y servicios afectados. Se confirmarán respaldo, capacidad alternativa y ausencia de trabajos incompatibles. La reserva temporal de recursos se incorporará al inventario para evitar interferencias.

El retorno tendrá pasos, tiempo y condiciones de ejecución. Restaurar un latiguillo es útil solo si se conserva identidad, condición y compatibilidad. En cambios de software o datos puede haber un punto después del cual el retorno necesita otro método; debe identificarse antes de comenzar.

Las condiciones de parada incluirán hallazgo de un extremo distinto, alarma no prevista, pérdida del camino alterno o superación del tiempo disponible. La autoridad para detener será explícita y no dependerá de improvisar una escalación durante el incidente.

Tabla 70.1. Preparar ventana y retorno

Elemento del procedimiento	Contenido verificable	Registro
Inicio	Identidad, configuración y salud previa.	Hora y evidencia de línea base.
Paso	Acción y resultado esperado.	Ejecutor y observación.
Pausa	Condición para detener o revisar.	Decisión y responsable.
Retorno	Estado recuperable y secuencia.	Acción y validación.
Cierre	Servicio, orden y documentación.	Pruebas e inventario final.

70.3 Ejecutar conexiones y limpieza con trazabilidad

La orden indicará extremos completos, puertos, cable, fibra y dominio. Se confirmará identidad en campo antes de desconectar. Los elementos retirados se protegerán y etiquetarán si pueden necesitarse para retorno.

La inspección, limpieza y reinspección se realizarán con accesorios y métodos compatibles. Se verificará condición óptica y procedimiento de seguridad antes de utilizar instrumentos. El resultado de conexión incluirá correspondencia y pruebas del alcance modificado.

Una intervención sobre un casete, troncal o panel puede afectar varios servicios. El análisis de impacto debe considerar esas relaciones y la posibilidad de mover involuntariamente conexiones vecinas. El cierre comprobará los servicios expuestos por la tarea.

70.4 Cerrar retirar y aprender

Se observará el servicio durante el período definido, se retirarán bucles y configuraciones temporales y se restaurarán alarmas suprimidas. La orden no terminará mientras el estado final sea desconocido. Los pendientes tendrán responsable y plazo.

El retiro verificará dependencias antes de liberar fibra, puertos o capacidad comercial. Se actualizarán etiquetas, inventario, planos y reservas. Un cable abandonado como si estuviera activo aumenta dificultad de futuras intervenciones.

Las desviaciones del procedimiento se registrarán y revisarán. La versión siguiente incorporará cambios útiles después de comprobarlos. La formación y los ejercicios deben utilizar el documento vigente para evitar que el conocimiento real quede solamente en una persona.

70.5 Caso de retorno imposible por retirar demasiado pronto

En un caso ficticio se migra un servicio y se desmonta de inmediato el camino anterior. La observación posterior detecta una incompatibilidad del destino; el retorno previsto ya no está disponible. La nueva ruta funciona parcialmente, pero el tiempo de recuperación aumenta.

La corrección establece un período y criterio de aceptación antes del retiro. El MOP conserva camino anterior, repuestos y pruebas hasta superar ese hito. El cierre técnico y la liberación de recursos se vuelven decisiones separadas y trazables.

70.6 MOP resuelto para una migración de panel

El MOP de XC-A-0001 conserva los dos caminos hasta probar el destino. Declara extremos exactos, configuración inicial, contactos, recursos temporales y condiciones para detenerse. El cambio comienza por A mientras B mantiene la función acordada. El instalador y el verificador comparan ambos extremos con la orden antes de desconectar.

1. Comprobar destino, respaldo sano, acceso de recuperación e inventario de servicios vecinos.
2. Trasladar únicamente el dominio autorizado y verificar identidad, canal y perfil.
3. Si aparece una alarma no prevista o falla la operación, detenerse y ejecutar el retorno definido.
4. Mantener el dominio opuesto sin intervenir hasta recuperar y aceptar el primero.
5. Cerrar con validación de ambos caminos, retirada de recursos temporales y actualización de planos y pruebas.

La frase volver atrás necesita un procedimiento realizable: puertos disponibles, latiguillos, configuración y criterio temporal. Retirar el origen antes de validar el destino puede hacer imposible ese retorno. El anexo J conserva los tiempos del incidente y la decisión de detener el segundo dominio.

Entrega del capítulo. Procedimiento ejecutable con acciones y comprobaciones.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Cada paso tiene un resultado observable?
2. ¿El retorno sigue disponible?
3. ¿Se conocen servicios vecinos expuestos?
4. ¿Se retiraron los cambios temporales y se actualizó inventario?

Capítulo 71 Automatización y control de cambios

Al terminar este capítulo, el lector podrá Automatizar cambios conservando control del estado final.

Términos esenciales. API = interfaz programática; idempotencia = repetición que conserva el efecto definido.

Automatizar conectividad significa ejecutar una intención controlada y comprobar el resultado. Una plantilla equivocada puede propagar un error a muchos equipos. Por eso el proceso necesita datos fiables, revisión de diferencias, aplicación gradual y conciliación entre estado esperado y estado real.

71.1 Definir intención y fuentes autorizadas

La intención identificará servicio, recursos, interfaces, perfil y políticas. El sistema validará disponibilidad y reservas antes de generar configuración. El inventario de conexiones físicas y el de parámetros lógicos deberán compartir identificadores y conservar responsabilidad por cada dato.

Las plantillas y modelos se versionarán junto con las variables que produjeron cada cambio. Se registrarán autor, revisión y contexto. Una actualización de plantilla no debe aplicarse automáticamente a equipos existentes sin evaluar diferencias y alcance.

NETCONF, RFC 6241, proporciona operaciones de gestión de configuración; sus capacidades concretas se negocian y dependen de la implementación. NMDA, RFC 8342, distingue almacenes de configuración y estado operacional. Estos marcos ayudan a evitar confundir lo solicitado con lo que efectivamente funciona. [205, 206]

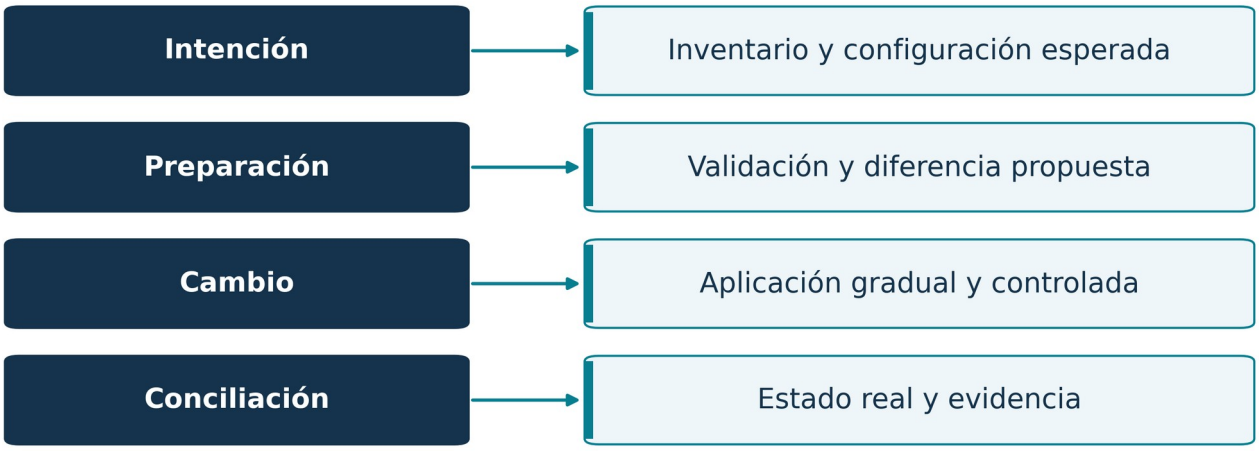


Figura 71.1. Ciclo de automatización. La conciliación completa la ejecución del cambio. Elaboración propia.

71.2 Validar antes de aplicar

La preparación comprobará esquema, rangos, identificadores únicos y referencias. Se generará una diferencia legible que muestre altas, cambios y retiros. También se revisarán efectos sobre rutas, acceso administrativo y servicios vecinos.

La validación de sintaxis es necesaria, pero no demuestra intención correcta. Se añadirán comprobaciones de política y capacidad, además de laboratorio o simulación cuando aporten evidencia. Un simulador solo representa las funciones y condiciones que modela.

La idempotencia busca que repetir una operación ya satisfecha no añada cambios imprevistos. No se debe asumir que cualquier API ofrece esa propiedad. La reejecución tras un error requiere conocer qué acciones se completaron y cuáles quedaron pendientes.

Tabla 71.1. Validar antes de aplicar

Etapa	Control	Evidencia
Datos	Identidad, capacidad y reservas.	Versión de entradas.
Propuesta	Diferencia y alcance.	Revisión y autorización.
Aplicación	Grupo limitado y condiciones de parada.	Respuesta de cada equipo.
Verificación	Estado, tráfico y servicio.	Pruebas posteriores.
Conciliación	Inventario y configuración vigente.	Cierre e historial.

71.3 Aplicar gradualmente y tratar fallas parciales

Los cambios se ordenarán para conservar acceso y continuidad. Se comenzará por un grupo limitado apropiado al riesgo y se observará antes de ampliar. Los dominios redundantes no deben modificarse simultáneamente sin una razón y un plan expresos.

Una transacción en un equipo no implica atomicidad entre toda la red y el sistema comercial. Si una parte falla, el orquestador debe registrar estado y decidir retorno, compensación o continuación controlada. La respuesta de una llamada no se interpretará como éxito de toda la provisión.

Las credenciales se gestionarán fuera de plantillas y registros públicos, con privilegios y vigencia adecuados. La automatización tendrá trazabilidad de acciones y un mecanismo para detener despliegues. La recuperación manual seguirá disponible conforme al diseño.

71.4 Verificar servicio y mantener respaldos

Después se comprobarán interfaces, vecinos, rutas, perfil y tráfico. El sistema comparará configuración y estado con la intención, identificando diferencias justificadas. Una respuesta satisfactoria de la API no demuestra que el cliente pueda utilizar el servicio.

Los respaldos se versionarán y se probará su restauración en un alcance controlado. Se conservarán dependencias de software y hardware. Restaurar una configuración de otra versión puede necesitar conversión y validación.

En un caso ficticio una plantilla cambia la VRF de gestión en ambos bordes y pierde acceso. La revisión posterior incorpora validación de camino administrativo, despliegue por dominio y retorno comprobado. La automatización se acepta por sus controles y evidencia, además de su rapidez.

71.5 Cambio automatizado con verificación posterior

La orden ficticia ORC-71-01 aplica un perfil aprobado en los extremos A y Z de un servicio de laboratorio. La preparación conserva versión de inventario, configuración previa, diferencia revisada, ventana y condición de retorno. El ejemplo muestra cómo decidir ante una respuesta parcial; no representa una ejecución sobre equipos reales.

Tabla 71.2. Registro de una ejecución parcial y su conciliación

Paso	Estado conocido	Decisión y evidencia
Preparación	Ambos extremos y la gestión se comprueban antes de cambiar. Se conserva configuración CFG-ANTES.	Revisión de diferencias y plan de retorno; el otro dominio queda disponible.
Aplicación en A	A confirma que recibió el perfil. La prueba global aún no se ha completado.	Registrar acción y respuesta; no cerrar el servicio.
Petición a Z	La sesión termina antes de recibir confirmación. No se sabe si Z aplicó el cambio.	Marcar estado incierto y detener nuevas acciones; no repetir a ciegas.
Consulta del estado	La comprobación didáctica posterior muestra Z con CFG-ANTES y A con la versión nueva.	Conservar ambas lecturas y decidir conforme al plan; la respuesta fallida no describía toda la operación.
Compensación elegida	El ejercicio elige devolver A a CFG-ANTES mientras mantiene el servicio por el dominio alternativo.	Rol autorizado ejecuta retorno y comprueba estado, tráfico y transacción.
Cierre del ejercicio	La intención queda cancelada por ejecución parcial; el estado operativo y el inventario se concilian.	Registrar acciones, versiones y pruebas esperadas. No se atribuyen resultados físicos ni firmas.

La idempotencia se evalúa para la operación concreta y para sus reintentos; la mera presencia de una API no la demuestra. Si el estado no puede determinarse, el registro sigue abierto con esa incertidumbre y una autoridad de decisión. El retorno tampoco se declara correcto hasta comprobar el servicio y el acceso administrativo.

El archivo casos_editoriales/cambio_71.csv conserva la intención y los estados de este ejercicio. La salida que se evalúa es una decisión justificada de continuar, compensar o mantener la operación pendiente. Las credenciales, direcciones de producción y comandos de una plataforma real no forman parte del ejemplo.

Entrega del capítulo. Cambio por fases con prueba independiente y recuperación.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La propuesta muestra exactamente qué cambia?
2. ¿Se conocen las acciones completadas tras un error?
3. ¿El despliegue conserva gestión y redundancia?
4. ¿Se verificó el servicio después de la API?

Capítulo 72 Formación y competencias del personal

Al terminar este capítulo, el lector podrá Evaluar competencias mediante una ejecución observada.

Términos esenciales. Competencia = capacidad demostrada para una tarea; autorización = alcance permitido de actuación.

La competencia del personal se demuestra al ejecutar e interpretar tareas concretas. Un curso o certificado puede ser parte de la evidencia, pero la operación necesita saber quién puede instalar, medir, configurar, autorizar y aceptar cada alcance. La formación debe acompañar tecnologías, procedimientos y riesgos reales del sitio.

72.1 Definir funciones y límites de actuación

La matriz de competencias diferenciará instalador, técnico de medición, especialista de transmisión, operador de red, coordinador de cambios y responsable de recepción. Una persona puede cubrir varias funciones si tiene evidencia y autorización para cada una.

Los niveles indicarán observar, ejecutar con supervisión, ejecutar autónomamente y revisar o autorizar. No se supondrá que manejar un instrumento equivale a interpretar todos sus resultados. La persona debe reconocer cuándo el montaje o el dato no permiten una decisión.

NICE, NIST SP 800-181 Rev. 1, organiza trabajo de ciberseguridad mediante tareas, conocimientos y habilidades. Aquí se toma esa estructura como referencia metodológica y se adapta a conectividad; no se presenta la matriz propia como una certificación NICE de instaladores. [207]

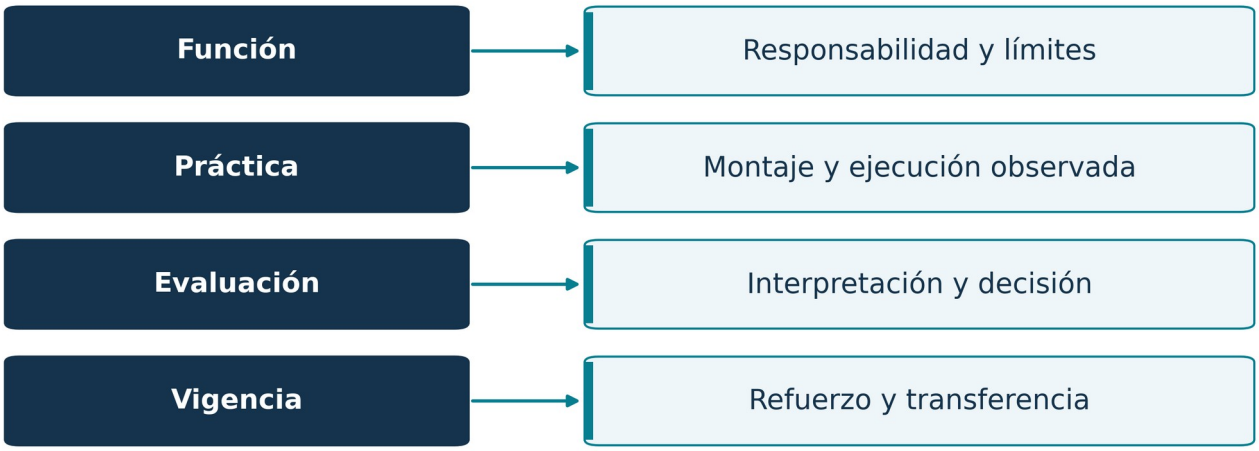


Figura 72.1. Competencia por función. La evaluación debe observar práctica y decisión. Elaboración propia.

72.2 Enseñar preparación ejecución e interpretación

La práctica de fibra incluirá identidad, condición óptica, inspección y limpieza, referencia de pérdida y montaje OTDR. La evaluación pedirá explicar cobertura, límites y anomalías, no solo obtener una pantalla de aprobación.

En red se trabajarán VLAN, direccionamiento, rutas, MTU, perfil y puntos de demarcación. El técnico deberá interpretar contadores y relacionar pérdida, congestión y extremos. Las prácticas de transmisión incluirán modo, FEC y validez de supervisión para la plataforma que administra.

El personal de coordinación aprenderá impacto, escalación, condiciones de parada y comunicación. La competencia comercial incluirá distinguir presencia de carrier, acceso disponible y servicio entregable. Prometer una ruta no verificada también es un fallo de proceso.

Tabla 72.1. Enseñar preparación ejecución e interpretación

Función	Ejercicio observado	Evidencia de competencia
Instalación	Conectar una orden y verificar extremos.	Montaje correcto y registro.
Medición	Preparar referencia y explicar un resultado.	Archivo, límite e interpretación.
Red	Activar perfil y diagnosticar una falla.	Configuración y prueba de servicio.
Operación	Ejecutar cambio y retorno.	Secuencia, decisión y cierre.
Recepción	Revisar cobertura y excepciones.	Decisión sustentada.

72.3 Evaluar errores y decisiones de parada

El laboratorio incluirá defectos preparados y seguros: etiqueta inconsistente, referencia incorrecta, límite equivocado, reloj inválido o puerto de prueba excluido. El objetivo es que el participante los detecte y decida repetir o escalar.

La rúbrica describirá qué resultado es aceptable y qué error impide actuar sin supervisión. Se observarán cuidado del equipo, trazabilidad y explicación. El evaluador conservará fecha, versión del procedimiento y alcance de la autorización resultante.

Una evaluación teórica complementa la práctica, pero no reemplaza la destreza manual ni la capacidad de seguir el recorrido. Las situaciones de emergencia se ejercitarán con guion y límites para no convertir formación en riesgo no controlado.

72.4 Mantener vigencia y transferencia

La actualización se disparará por nuevos equipos, métodos, normas adoptadas o incidentes que revelen una brecha. El plan fijará refuerzos y reevaluación según función y exposición. La autorización puede requerir supervisión adicional después de un cambio importante.

La transferencia incluirá planos, línea base, procedimientos, práctica acompañada y acceso a soporte. El receptor deberá demostrar una tarea antes de cerrar la entrega. Una presentación general sin ejecución deja conocimiento operativo sin comprobar.

En un caso ficticio el equipo sabía medir pérdida, pero nadie revisaba que los archivos cubrieran todas las fibras. La formación incorpora conciliación de cobertura y una evaluación con resultados duplicados. El cierre mejora la capacidad de recepción, además de la ejecución del ensayo.

72.5 Evaluación práctica con anomalías preparadas

La evaluación del instalador incluye una etiqueta discrepante y un latiguillo contaminado; la del técnico de medida incluye una referencia inadecuada y dos eventos fusionados; la del operador incluye una sonda ausente presentada como cero. El alumno debe reconocer la condición, detener o corregir dentro de su alcance y explicar qué evidencia necesita para continuar.

La rúbrica evalúa ejecución, interpretación, decisión y registro. La autorización se concede por tareas y recursos, con supervisión cuando corresponde. El solucionario del anexo H ofrece orientaciones para las preguntas del libro; la transferencia operativa se demuestra además mediante una ejecución observada en el entorno y bajo las reglas de la organización.

Entrega del capítulo. Rúbrica y registro de desempeño por función.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La autorización describe una tarea y un alcance?
2. ¿La evaluación exige interpretar anomalías?
3. ¿La formación incluye detener y escalar?
4. ¿La transferencia se comprobó mediante ejecución?

Parte 13 Ingeniería y gestión comercial del proyecto

El proyecto vincula requisitos con diseño, construcción y condiciones comerciales. La gestión debe conservar evidencia de alcance, costo, plazo y capacidad durante el ciclo de vida.

Capítulo 73 De los requisitos al diseño de detalle

Al terminar este capítulo, el lector podrá Convertir requisitos en diseño construible y comprobable.

Términos esenciales. Diseño de detalle = definición suficiente para ejecutar; revisión = comprobación de coherencia.

El diseño de conectividad transforma requisitos de servicio en rutas, equipos y especificaciones construibles. Debe resolver capacidad y continuidad junto con energía, espacio y operación. El paquete de detalle permitirá instalar y probar lo solicitado sin depender de decisiones improvisadas en campo.

73.1 Fijar requisitos y condiciones de crecimiento

La base de diseño describirá clientes, destinos, capacidad, interfaces, densidad, fases, continuidad y criterios de aceptación. Cada requisito tendrá responsable y fuente. Las suposiciones se distinguirán de compromisos confirmados por operadores y fabricantes.

El estudio de factibilidad revisará presencia y acceso de carriers, rutas, puntos de entrega y plazos. La cercanía de un cable no acredita acceso disponible. Se comprobarán capacidad comercial, permisos y trabajos necesarios para convertir infraestructura cercana en servicio.

Los escenarios de crecimiento definirán ocupación normal y contingencia, reservas y horizonte. No se dimensionará solo por número de racks: importan fibras por rack, interfaces, servicios, mezcla de medios y distribución por dominio.

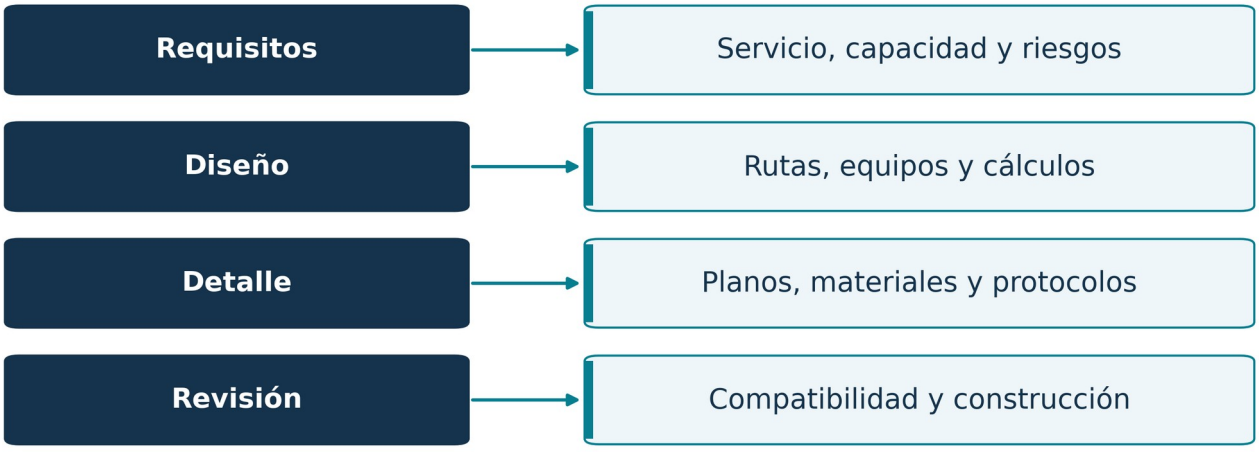


Figura 73.1. Del requisito al paquete de detalle. Las revisiones mantienen coherencia entre disciplinas. Elaboración propia.

73.2 Desarrollar concepto y diseño básico

El concepto comparará entradas, MMR, distribución, topología de equipos y servicios externos. Se evaluarán dominios de falla y posibilidad de mantenimiento. Las opciones tendrán limitaciones y dependencias visibles, no únicamente un dibujo simétrico.

El diseño básico asignará espacios, recorridos principales, capacidades, medios y funciones de equipos. Se coordinará con estructura, electricidad, climatización, seguridad y protección contra incendio. Las penetraciones y soportes necesitan una solución compatible con el edificio.

ANSI/BICSI 002-2024 aborda diseño de los sistemas y disciplinas del data center. Su alcance sirve como referencia de coordinación; la aplicación exige revisar el texto y los requisitos específicos adoptados por el proyecto. [208]

Tabla 73.1. Desarrollar concepto y diseño básico

Documento	Decisión que comunica	Revisión necesaria
Topología	Dominios, equipos y servicios.	Falla y mantenimiento.
Plantas y secciones	Rutas, soportes y penetraciones.	Coordinación entre disciplinas.
Cálculos	Fibras, pérdidas y capacidad.	Supuestos, unidades y reservas.
Especificaciones	Prestaciones y compatibilidad.	Fabricantes y criterios verificables.
Materiales y pruebas	Cantidades y alcance de entrega.	Construcción y recepción.

73.3 Completar ingeniería de detalle

Los planos definirán origen, destino, cable, fibra, panel, puerto, rack y rutas. Los esquemas de polaridad y correspondencia deben cubrir el canal completo. Se indicarán longitudes y condiciones que deberán confirmarse conforme a obra.

Los cálculos incluirán cantidad y reserva por dominio, ocupación de caminos, presupuesto óptico y compatibilidad de aplicación. La selección de módulos debe considerar extremos, modo, alcance y entorno. El presupuesto de pérdidas no sustituye la evaluación de transmisión coherente cuando esta corresponda.

La lista de materiales relacionará componentes con planos y especificaciones. Accesorios, organizadores, bobinas de prueba y repuestos necesarios no deben quedar implícitos. La equivalencia propuesta por un proveedor se evaluará por prestaciones y compatibilidad, además de formato.

73.4 Revisar, construir y controlar los cambios

Las revisiones comprobarán coherencia entre requisitos, planos, cálculos, cantidades y protocolos. Deben participar quienes construirán, operarán y recibirán el sistema. Los comentarios tendrán resolución y versión, evitando conjuntos de planos incompatibles.

Cada cambio evaluará impacto en capacidad, margen, diversidad, costo, plazo y pruebas. Un desvío de ruta puede afectar varios de esos campos. La aprobación de una solución de campo deberá trasladarse al paquete conforme a obra.

En un caso ficticio se amplían racks sin ampliar fibras del dominio B ni capacidad de bandeja. La revisión integrada detecta que el crecimiento solo estaba contemplado en el plano de sala. Se corrigen cálculo y materiales antes de construir y se actualiza el plan de aceptación.

73.5 Paquete de detalle del campus

El paquete DD-FARO-01 organiza el diseño de la distribución hacia E01. Reutiliza la identidad TR-A-E01 y las 144 fibras de su inventario, sin inventar distancias de obra. Cada documento explica una decisión y señala el requisito o registro que la respalda. La revisión D1 identifica el conjunto didáctico; no es una aprobación de construcción.

Tabla 73.2. Índice relacionado de un paquete de detalle

Documento y revisión	Contenido y vínculo	Control de cambio
REQ-R01 · D1	Demanda y continuidad del servicio; extremos y aceptación.	Gobierna las hipótesis del diseño y sus excepciones.
PL-RUTA-E01 · D1	Entradas, MMR, distribución y penetraciones de E01; relación con TR-A-E01.	El plano previsto se distingue del conforme a obra.
MAP-TR-A-E01 · D1	144 fibras instaladas del caso, pares de servicio, posiciones y reserva.	Un cambio de terminación actualiza orden y mapa completo.
CAL-OPT-E01 · D1	Presupuesto del canal con longitudes, conexiones y reservas de la versión adoptada.	Una desviación de ruta obliga a revisar pérdidas y compatibilidad.
BOM-E01 · D1	Cables, paneles, casetes, organizadores, soportes y accesorios relacionados con los planos.	Una equivalencia de material se contrasta con interfaz y mantenimiento.
PR-E01 · D1	Identidad, inspección, pérdida, OTDR y servicio según los alcances que se entregan.	Relaciona objetos, referencias, método, cobertura y criterio.
ACT-E01 · D1	Acta del ejercicio con resultados, restricciones y responsables por función.	Conserva pendientes y no sustituye una aceptación firmada real.

Supóngase un cambio de penetración durante la coordinación. El registro identifica PL-RUTA-E01 como origen del cambio y comprueba qué varía en el mapa de fibras, longitudes, presupuesto óptico, materiales, riesgos compartidos y pruebas. Si falta un dato, el documento afectado permanece pendiente; no se arrastra una marca de conforme desde una versión anterior.

La liberación del paquete exige que los documentos correspondan a la misma revisión y que las discrepancias tengan resolución. La recepción posterior incorpora lo realmente ejecutado y repite los alcances afectados. El archivo casos_editoriales/paquete_73.csv permite recorrer desde requisito hasta plano, cálculo, material, prueba y acta.

Entrega del capítulo. Paquete coordinado de planos cálculos y pruebas.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Cada requisito aparece en una solución verificable?
2. ¿Las reservas están repartidas por dominio?
3. ¿Planos y materiales corresponden a la misma versión?
4. ¿El cambio de campo actualiza margen y pruebas?

Capítulo 74 Construcción y puesta en servicio integrada

Al terminar este capítulo, el lector podrá Integrar inspecciones ensayos y preparación de operación.

Términos esenciales. FAT = prueba de aceptación en fábrica; SAT = prueba de aceptación en sitio.

La puesta en servicio integrada comprueba que los subsistemas construidos funcionan juntos y que operación puede recibirlos. La certificación de cada cable es una parte del proceso. El plan debe relacionar inspección, pruebas de equipos, activación de servicios y escenarios de falla antes de cerrar la entrega.

74.1 Planificar hitos inspecciones y puntos de espera

El programa identificará entregables por fase, prerrequisitos y responsables. Los puntos de espera impedirán ocultar un trabajo que necesita revisión, como una penetración, una correspondencia de fibras o un soporte antes de quedar inaccesible.

La recepción de materiales cotejará identidad, cantidades, condición y compatibilidad con las especificaciones. Las sustituciones tendrán evaluación y aprobación técnica. El material recibido debe relacionarse con el activo instalado y sus pruebas.

El control de construcción verificará rutas, soportes, radios y condiciones mecánicas según los productos; etiquetado, limpieza y coordinación con otras disciplinas. Una prueba óptica favorable no elimina una instalación fuera de las condiciones admitidas por el fabricante.

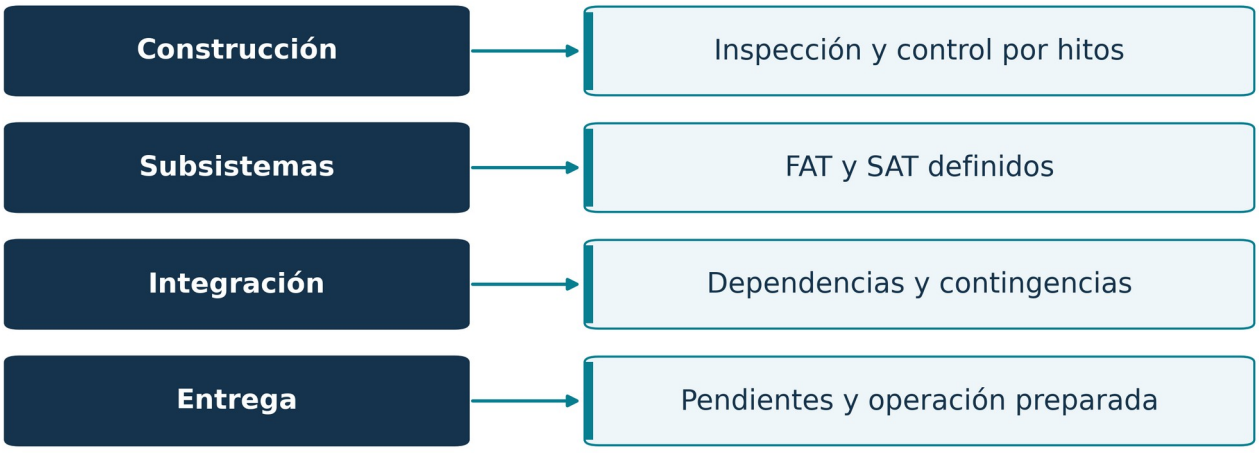


Figura 74.1. De la construcción a la operación preparada. La integración se prueba después de verificar prerrequisitos. Elaboración propia.

74.2 Definir FAT SAT y alcance contractual

FAT designa aquí pruebas de aceptación en fábrica y SAT pruebas de aceptación en sitio. El contrato debe concretar objeto, montaje, testigos, límites y archivos. El nombre de la etapa no demuestra qué se ensayó ni permite sustituir pruebas del sistema instalado.

Las pruebas de equipos pueden revisar configuración, alarmas, interfaces, gestión y funciones acordadas. Las de sitio incorporan instalación real, energía, ambiente, rutas y conexiones. Se conservarán diferencias entre configuración de fábrica y configuración final.

La evidencia debe indicar qué quedó simulado o fuera del montaje. Un conjunto de puertos en laboratorio no representa automáticamente la densidad, temperatura y carga del rack definitivo. Las restricciones se incorporarán al plan de repetición en campo.

Tabla 74.1. Definir FAT SAT y alcance contractual

Hito	Prerrequisito	Resultado de salida
Inspección	Material y diseño vigente.	Instalación apta para probar.
Cableado	Identidad y montaje de medida.	Cobertura y resultados aceptados.
Equipos	Configuración y soporte.	Interfaces, alarmas y gestión válidas.
Servicio	Demarcaciones y perfil.	Prestaciones y protección.
Entrega	Documentación y formación.	Operación capaz de mantener y recuperar.

74.3 Probar dependencias de manera integrada

Se verificará que una alarma física llega al sistema de supervisión y genera una actuación reconocible. La pérdida controlada de un recurso debe relacionarse con cambio de ruta, capacidad y transacción. La secuencia necesita coordinación de telecomunicaciones y responsables de instalaciones.

Las intervenciones eléctricas, mecánicas o sobre sistemas de protección seguirán procedimientos autorizados y personal competente. El protocolo de conectividad observará efectos y recuperación dentro del alcance previsto. No debe improvisar maniobras sobre sistemas críticos del edificio.

El acceso fuera de banda se probará bajo el escenario que pretende resolver. También se comprobarán DNS, identidad y tiempo cuando formen parte del servicio. La integración revela dependencias que no aparecen al evaluar cada subsistema en reposo.

74.4 Cerrar pendientes y transferir operación

Las no conformidades tendrán impacto, corrección, repetición y responsable. Las restricciones operativas se comunicarán antes de permitir uso. La firma debe identificar exactamente qué fase, capacidad y configuración se reciben.

La entrega incluirá planos conforme a obra, inventario, resultados, respaldos, repuestos, mantenimiento y formación práctica. El equipo receptor demostrará acceso, diagnóstico y una tarea de recuperación apropiada. La transferencia documental sin capacidad de actuación deja incompleta la preparación.

En un caso ficticio todos los cables cumplen, pero durante pérdida del enlace principal el NOC no recibe alarmas porque el colector utiliza ese mismo camino. La prueba integrada corrige la dependencia y repite detección y recuperación. El resultado aceptado es el sistema utilizable y operable.

74.5 Puntos de espera y recepción integrada

El programa establece inspección de canalizaciones y penetraciones antes de ocultarlas, verificación del cable antes y después del tendido, y aceptación de subsistemas antes del servicio completo. Los

ensayos de fábrica y de sitio declaran qué condiciones representan y cuáles quedan fuera. Se conservan resultados originales y no conformidades hasta su cierre.

La recepción integrada provoca una falla acordada y observa señal, alarma, actuación y recuperación de la función. Se comprueba que la supervisión llega a quien debe actuar y que el procedimiento puede ejecutarse con los recursos supervivientes. El traspaso a operación incluye una recuperación observada y la localización efectiva de los documentos y respaldos necesarios.

Entrega del capítulo. Plan de puntos de espera y pruebas integradas.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Hay trabajos que necesitan inspección antes de ocultarse?
2. ¿FAT y SAT declaran qué quedó fuera?
3. ¿La alarma llega a quien actúa durante la falla?
4. ¿Operación puede usar los documentos y recuperar?

Capítulo 75 Normas y alcance de las certificaciones

Al terminar este capítulo, el lector podrá Precisar objeto edición y alcance de cada declaración normativa.

Términos esenciales. Certificación = declaración bajo un esquema y alcance; acreditación = reconocimiento de competencia de una entidad.

Una norma debe citarse por documento, edición y alcance. Una certificación debe declarar qué objeto y condiciones evaluó. La palabra certificado no permite deducir que fibra, red, edificio, operación y contrato hayan sido comprobados en conjunto. Este capítulo organiza las referencias y las preguntas que hacen verificable una declaración.

75.1 Construir un registro normativo del proyecto

El registro distinguirá requisitos legales aplicables, normas adoptadas por contrato, especificaciones de fabricante y criterios propios de diseño. La aplicabilidad de obligaciones locales se resolverá para la jurisdicción y el proyecto concretos. Citar una norma técnica no sustituye ese análisis.

Cada entrada tendrá organismo, número, título, edición, enmiendas, estado, capítulos aplicados y evidencia de cumplimiento. Se conservará fecha de consulta del catálogo oficial. Un borrador puede servir para estudiar una evolución, pero no se presentará como edición final publicada.

La revisión de este libro está situada en noviembre de 2026. Los proyectos posteriores deben repetir la comprobación de estado antes de especificar o contratar. Las referencias de catálogo no equivalen a haber adquirido y aplicado todos los requisitos del texto completo.

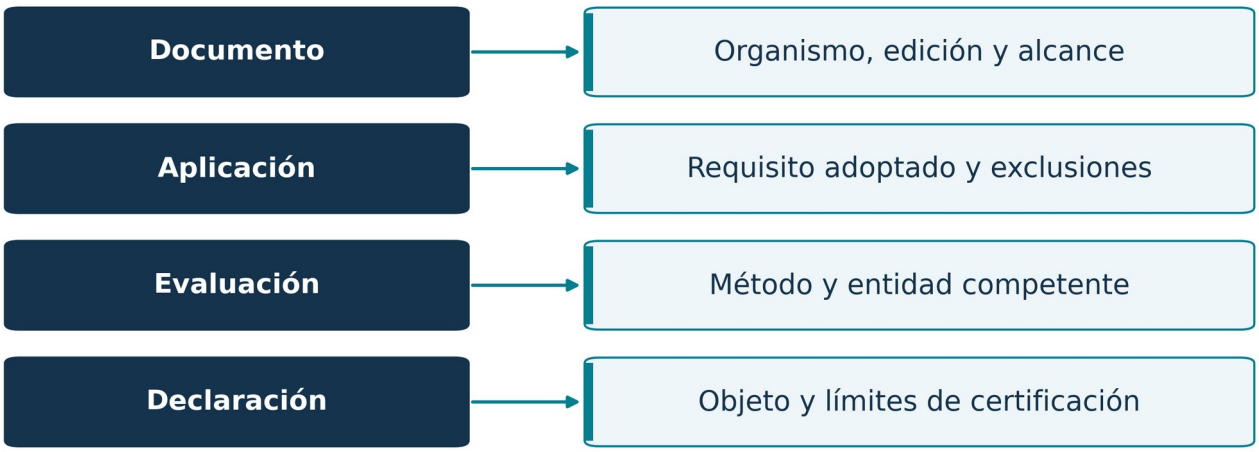


Figura 75.1. De la referencia a la declaración. El alcance debe acompañar toda certificación. Elaboración propia.

75.2 Relacionar familias con objetos

ITU-T aporta recomendaciones de fibra, transmisión y servicio; IEEE especifica tecnologías como Ethernet y funciones de red; IETF publica protocolos, métricas y documentos de distintas categorías. No todos los RFC son estándares: debe revisarse su categoría y actualizaciones.

ISO e IEC cubren infraestructura, cableado, componentes y métodos; TIA y BICSI aportan referencias de infraestructura y diseño; MEF y Mplify tratan atributos, activación y automatización de servicios. El registro debe elegir documentos concretos, sin declarar cumplimiento de todo un organismo.

Las normas pueden definir objetos distintos y emplear clasificaciones que no son intercambiables. Mezclar límites de componentes con límites de canal o trasladar una categoría de edificio a una prueba de enlace produce declaraciones sin soporte.

Tabla 75.1. Relacionar familias con objetos

Referencia comprobada	Objeto principal	Precaución de alcance
TIA-942-C, 2024	Infraestructura del data center.	No sustituye aceptación de cada servicio.
ANSI/BICSI 002-2024	Diseño de sistemas y disciplinas.	Aplicar requisitos seleccionados del proyecto.
ISO/IEC TS 22237-5:2018	Infraestructura de cableado del data center.	FDIS de reemplazo aún en desarrollo a la consulta.
ISO/IEC 14763-3:2024	Ensayos de cableado de fibra.	Montaje y alcance deben corresponder.
G.976, noviembre de 2025	Métodos de prueba submarinos.	Seleccionar por fase y arquitectura.
Y.1564, 2016 y corrección	Activación Ethernet.	Conservar perfiles y condiciones.

75.3 Reconocer cambios de edición y documentos en desarrollo

El catálogo ISO mantiene ISO/IEC TS 22237-5:2018 y muestra un FDIS de reemplazo en fase de aprobación. Esta distinción impide presentar el proyecto de 2026 como norma final ya publicada. Las partes de la serie 22237 tienen estados propios y deben comprobarse individualmente. [125]

TIA identifica la revisión C de TIA-942 en 2024, y BICSI publica 002-2024. ISO/IEC 14763-3:2024 corresponde a la edición de ensayos de fibra utilizada como referencia en este libro. La selección de una nueva edición necesita evaluar diferencias y transición del proyecto. [209, 208, 181]

Una actualización no debe introducirse silenciosamente en una recepción ya acordada. Se documentará qué texto rige el ensayo y cómo se tratarán cambios. Las condiciones de seguridad y obligaciones aplicables requerirán su revisión específica, independientemente de la edición contractual.

75.4 Distinguir ensayo acreditación y certificación de instalación

ISO/IEC 17025:2017 trata competencia de laboratorios de ensayo y calibración. Una acreditación debe revisarse por entidad, alcance y magnitudes; no convierte cualquier actividad de la empresa en ensayo acreditado ni certifica automáticamente el data center. [210]

Uptime Institute distingue certificación de documentos de diseño, instalación construida y sostenibilidad operacional. Debe comprobarse el reconocimiento concreto, su capacidad, fase y límites. Una certificación de diseño no es la misma evidencia que una evaluación de lo construido. [211]

La certificación de cableado verifica un objeto bajo un límite y montaje. La aceptación contractual reúne los requisitos acordados entre partes. El funcionamiento de aplicación necesita evidencia adicional cuando es parte de la entrega. Las declaraciones deben mantener estas diferencias.

75.5 Caso de una afirmación más amplia que la evidencia

Un caso ficticio anuncia campus certificado a partir de una evaluación de diseño de una primera fase. La revisión encuentra edificios futuros y servicios de carrier fuera del alcance. El problema se corrige describiendo el reconocimiento por fase y objeto, y creando aceptación para las nuevas entregas.

El registro final vincula cada afirmación con su evidencia y responsable de actualización. El anexo L facilita una plantilla para mantener normas y estados sin convertir esta edición del libro en un catálogo inmutable.

75.6 Registro de aplicación y revisión técnica

Cada referencia del proyecto conserva organismo, número, edición, correcciones, objeto y requisito adoptado. Una ficha pública de catálogo puede verificar título y estado, pero no sustituye la consulta del texto completo cuando se declara conformidad. Un borrador mantiene su condición y no se presenta como edición final publicada.

La revisión de un protocolo relaciona cada declaración con el apartado aplicable, su método y su evidencia. Se distingue la certificación de cableado de la del edificio, del sistema de gestión o de un laboratorio. El kit incluye una hoja de revisión técnica para que un especialista registre observación, fundamento, resolución y versión; la hoja no representa una aprobación ya otorgada.

Entrega del capítulo. Registro de referencias y requisitos efectivamente adoptados.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La referencia incluye edición y enmiendas?
2. ¿Un borrador se presenta como tal?
3. ¿La acreditación cubre la actividad concreta?
4. ¿La afirmación comercial coincide con el objeto evaluado?

Capítulo 76 Contratos y costo total de conectividad

Al terminar este capítulo, el lector podrá Comparar costos durante todo el horizonte del servicio.

Términos esenciales. TCO = costo total de propiedad o servicio bajo un alcance; IRU = derecho de uso bajo un acuerdo.

El costo total de conectividad reúne inversión, operación, crecimiento y salida durante un horizonte común. Comparar únicamente la renta mensual puede ocultar equipos, energía, cross connects o reparación. La decisión debe enfrentar alternativas que entreguen un servicio y una continuidad comparables.

76.1 Definir alternativas y obligaciones

Las opciones pueden incluir construir infraestructura, arrendar fibra, contratar capacidad iluminada o adquirir derechos de uso sobre un recurso definido. En el mercado se utilizan contratos IRU y modalidades de renta; sus derechos, plazo, mantenimiento y restricciones dependen del acuerdo concreto. [212]

La matriz identificará quién aporta los equipos terminales y quién se encarga de operarlos, repararlos, ampliarlos y conservar la evidencia. El acceso a una fibra no incluye automáticamente transmisión, internet ni servicio de aplicación. Un derecho de uso tampoco debe interpretarse sin revisar el contrato como propiedad plena de toda la infraestructura.

El análisis contractual identificará extremos, recurso, capacidad, disponibilidad, plazos, aceptación, soporte, mantenimiento y salida. Las condiciones comerciales y jurídicas necesitan revisión por los responsables del proyecto. Aquí se propone una estructura técnica y económica para hacer comparables las opciones.

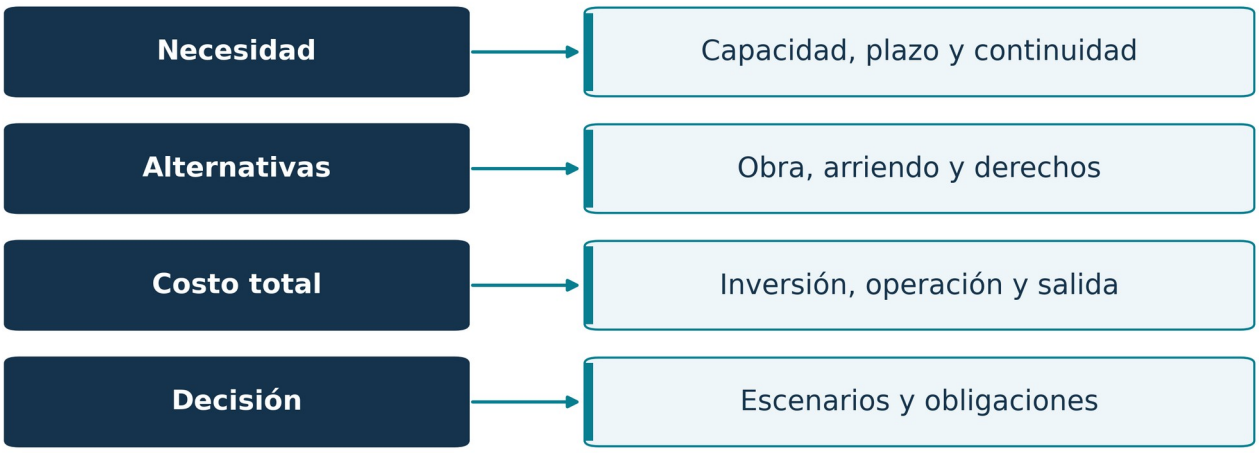


Figura 76.1. Decisión de conectividad durante su ciclo de vida. Las alternativas se comparan por prestación y obligaciones. Elaboración propia.

76.2 Construir el costo completo

La inversión puede incluir obra, derechos, cable, paneles, equipos, ópticas, instalación, pruebas y repuestos. La operación puede incorporar renta, energía, refrigeración, licencias, soporte, acceso a MMR, cross connects y personal. Se evitará contar dos veces un concepto incluido en una tarifa.

Se añadirán renovaciones, crecimiento, traslados, contingencia y retiro según escenario. La capacidad de protección tiene un costo aunque permanezca libre durante operación normal. El costo por Gb/s necesita una definición de capacidad útil y condiciones para no comparar puerto con compromiso de servicio.

El modelo conservará moneda, fecha, horizonte, impuestos tratados y supuestos. Si se utiliza descuento financiero, se declararán tasa y tratamiento coherente de flujos. Un total simple sin descuento es válido como ejemplo didáctico si se identifica así.

Tabla 76.1. Construir el costo completo

Concepto	Alternativa A	Alternativa B
Inversión inicial ficticia	50 000 unidades monetarias.	100 000 unidades monetarias.
Costo mensual ficticio	4 000 unidades monetarias.	2 000 unidades monetarias.
36 meses sin descuento	194 000 unidades monetarias.	172 000 unidades monetarias.
Supuesto del ejemplo	Prestaciones equivalentes y sin otros costos.	Prestaciones equivalentes y sin otros costos.

76.3 Interpretar el ejemplo y probar sensibilidad

El ejemplo es original y no representa precios de mercado. A suma 50 000 más 36 por 4 000; B suma 100 000 más 36 por 2 000. B cuesta 22 000 menos bajo esos supuestos, pero requiere 50 000 adicionales al inicio.

La igualdad nominal ocurre a 25 meses: la diferencia inicial de 50 000 se compensa con 2 000 mensuales. El resultado cambia si hay otra vida útil, renovación, costos omitidos o prestaciones diferentes. No constituye por sí solo una recomendación de compra.

La sensibilidad variará crecimiento, energía, costo de ampliación y plazo real. También mostrará escenario de atraso de obra, indisponibilidad de capacidad adicional y salida anticipada. Un único pronóstico puede ocultar la variable que domina la decisión.

76.4 Relacionar SLA mantenimiento y salida

El SLA debe definir métrica, puntos, períodos, exclusiones y evidencia. Un crédito comercial no aporta capacidad de respaldo ni recupera una aplicación. El diseño de continuidad se evalúa por separado y se relaciona con obligaciones de reparación.

Los cambios de ruta, reparaciones y sustituciones tendrán reglas de notificación y aceptación según el acuerdo. Si la diversidad es requisito, debe existir una forma de conservarla y revisar alteraciones. El expediente técnico sustentará lo que se contrata.

La salida incluirá plazo, migración, datos y configuraciones, retiro de activos y liberación de recursos. En un caso ficticio la alternativa de menor renta exige nuevos equipos y licencias al ampliar; el costo completo modifica la comparación. La decisión queda sustentada en escenarios y servicio equivalente.

76.5 Comparación económica ligada al servicio aceptado

Las alternativas se comparan para los mismos extremos, capacidad por escenario, calendario y responsabilidades. El costo del caso incorpora habilitación, cableado, equipos, pruebas, operación, soporte y salida cuando corresponden. Las condiciones monetarias y fiscales se declaran en el análisis económico del proyecto; las cifras didácticas del libro no son ofertas comerciales.

Si una alternativa más barata requiere operar terminales propios, se añaden energía, repuestos, licencias, supervisión y personal. La revisión de sensibilidad identifica qué cambio de plazo, ampliación o reparación altera la preferencia. El contrato relaciona la fecha y condición de facturación con un hito definido, y conserva cómo se notifican y verifican cambios de ruta.

Entrega del capítulo. Comparación económica con escenarios y obligaciones.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Las alternativas entregan prestaciones comparables?
2. ¿Se incluyeron equipos, energía y cross connects?
3. ¿Qué supuesto cambia el resultado?
4. ¿La salida y los cambios de ruta están definidos?

Capítulo 77 Incorporación de clientes y control comercial

Al terminar este capítulo, el lector podrá Convertir una oportunidad en una entrega factible reservada y aceptada.

Términos esenciales. Catálogo = oferta de productos definidos; provisión = habilitación del servicio.

La incorporación de un cliente comienza antes de instalar la cross connect. Debe convertir una necesidad comercial en una entrega técnicamente factible, reservada, probada y documentada. El catálogo y el expediente deben describir lo que puede entregarse, con sus condiciones y plazos.

77.1 Recoger necesidad y comprobar factibilidad

La solicitud identificará cliente, ubicaciones, destinos, interfaces, capacidad, continuidad, seguridad y fecha. Se aclarará si busca fibra, transporte, internet, nube o una aplicación concreta. Las dependencias de terceros deben aparecer desde el inicio.

La factibilidad verificará presencia del proveedor, acceso a MMR, puertos y fibras aptas, recorrido, equipos y autorización. La respuesta tendrá fecha, vigencia, supuestos y trabajos pendientes. Presencia comercial en el campus no demuestra disponibilidad inmediata en cada rack.

Se distinguirán plazo estimado y compromiso confirmado. Una orden que necesita obra, equipo o acceso de otro operador debe mostrar esas dependencias. La venta se apoyará en recursos y evidencias, evitando prometer diversidad aún no comprobada.

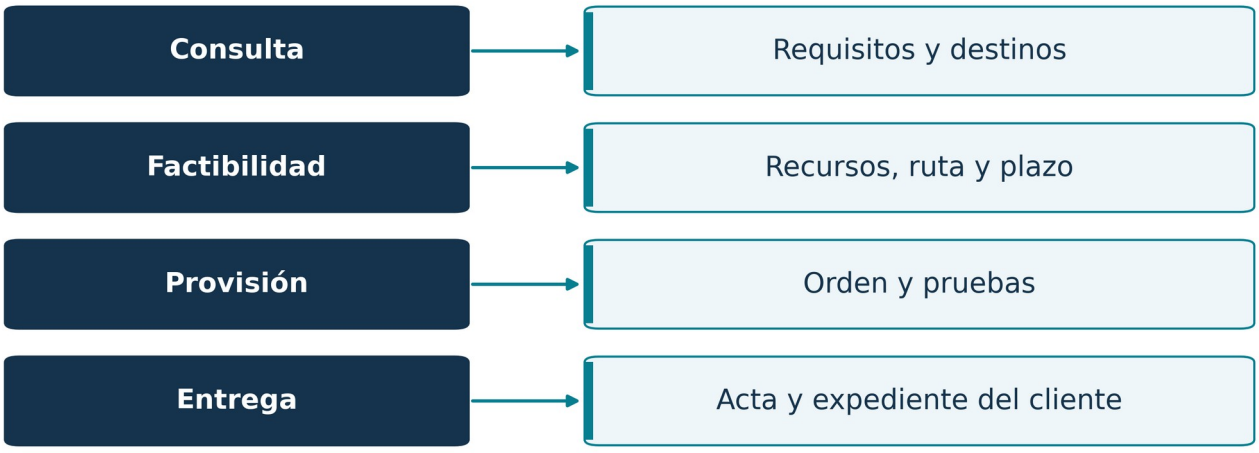


Figura 77.1. Incorporación del cliente. Factibilidad, provisión y entrega comparten identidad y evidencia. Elaboración propia.

77.2 Definir catálogo y reservar recursos

Cada producto tendrá alcance, demarcación, interfaces, prestaciones, opciones y exclusiones pertinentes. Se indicará si el acceso interno, cross connect, equipo y pruebas están incluidos o requieren órdenes relacionadas. La información debe ser comprensible para quien compra y ejecutable para quien provisiona.

La reserva identificará recursos, titular y vencimiento. La asignación debe impedir que dos órdenes consuman la misma capacidad. Los cambios de demanda devolverán recursos o ampliarán la reserva con revisión de factibilidad.

Las interfaces LSO Sonata de Mplify permiten automatizar interacciones comerciales entre proveedores, como cotización, órdenes y tickets. Son una referencia para integrar procesos; su uso no comprueba por sí solo la ruta física ni la capacidad que declara un inventario. [213]

Tabla 77.1. Definir catálogo y reservar recursos

Estado de la orden	Condición para avanzar	Evidencia
Solicitada	Requisitos identificados.	Ficha del cliente.
Factible	Recursos y dependencias revisados.	Respuesta con vigencia.
Reservada	Capacidad asignada.	Reserva y autorización.
Instalada	Trabajo físico y lógico completo.	Orden ejecutada.
Aceptada	Pruebas y alcance aprobados.	Acta y expediente.

77.3 Provisionar probar y entregar

La orden de conexión utilizará extremos completos y autorizaciones necesarias. La instalación conservará cable, fibra, panel, puerto y dominio. La activación lógica añadirá etiquetas, direcciones, perfil y destinos según el servicio.

El protocolo de aceptación verificará objeto entregado, prestaciones y protección. El cliente recibirá un resumen legible y acceso a la evidencia acordada. Las excepciones y pendientes deben ser visibles antes de cerrar la recepción.

El expediente del cliente integrará contactos, circuitos, demarcaciones, configuración pertinente, resultados y escalaciones. La fecha de facturación se regirá por el acuerdo y su hito definido; no debe inferirse automáticamente de que un técnico conectó el cable.

77.4 Medir el proceso y mantener coherencia comercial

Los indicadores pueden medir tiempo de factibilidad, provisión, aceptación, retrabajo y fallas tempranas. Deben conservar eventos iniciales y finales para evitar tiempos artificialmente favorables. Los retrasos por dependencia se mostrarán con causa y responsabilidad.

La oferta de varios campus debe describir qué destinos y prestaciones cubre cada producto. Un acceso local no equivale a DCI activo, y un circuito a la nube no habilita automáticamente los recursos de aplicación. Los cambios actualizarán catálogo, orden e inventario.

En un caso ficticio se promete doble carrier a un rack porque ambos tienen presencia en MMR. La revisión descubre que falta distribución del dominio B. El proceso corrige factibilidad, obra y plazo antes de aceptar la orden; la entrega final conserva evidencia de ambos caminos.

77.5 De la oportunidad a una orden ejecutable

La ficha comercial del Campus Faro distingue presencia de un operador, factibilidad de su acceso y servicio comprometido. Antes de reservar se comprueban ambos extremos, ruta, componentes y vigencia. El catálogo conserva qué parte de la provisión necesita obra, pruebas o una autorización de tercero.

El hito aceptado vincula la orden de conexión, las pruebas físicas y la activación del servicio que el cliente compró. El estado comercial no convierte un panel instalado en un servicio disponible. Durante la operación, cambios y ampliaciones utilizan el inventario y la reserva vigente para evitar vender la misma capacidad dos veces.

Entrega del capítulo. Orden comercial técnica y calendario de dependencias.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿El catálogo describe demarcaciones y dependencias?
2. ¿La factibilidad tiene vigencia y evidencia?
3. ¿La reserva impide doble asignación?
4. ¿La recepción y el hito comercial están relacionados explícitamente?

Capítulo 78 Capacidad y sostenibilidad durante el ciclo de vida

Al terminar este capítulo, el lector podrá Gestionar crecimiento reservas y renovación por recurso limitante.

Términos esenciales. Capacidad libre = recurso instalado no asignado; reutilización = nuevo uso tras evaluar condición y compatibilidad.

La capacidad de conectividad se administra durante todo el ciclo de vida. Debe acompañar crecimiento, mantenimiento y renovación sin acumular recursos inutilizables ni consumo innecesario. La sostenibilidad necesita medir el servicio útil junto con energía, espacio, materiales y condiciones de continuidad.

78.1 Dimensionar por fases y por recurso limitante

El plan de capacidad diferenciará demanda confirmada, reserva comercial y crecimiento previsto. Cada fase revisará fibras, puertos, espectro, bandejas, rack, energía, refrigeración y licencias. La ampliación debe resolver el recurso que limita el siguiente servicio entregable.

Se conservará capacidad de contingencia conforme al diseño. Un recurso ocioso para uso normal puede ser necesario durante una falla. Su función se documentará para evitar retirarlo como sobrante y perder continuidad.

La decisión de preinstalar infraestructura pasiva o añadir equipos por fases comparará costo, interferencia sobre operación y vida útil. Construir reservas puede evitar nuevas obras, pero requiere identidad y comprobación para que sean utilizables cuando se necesitan.

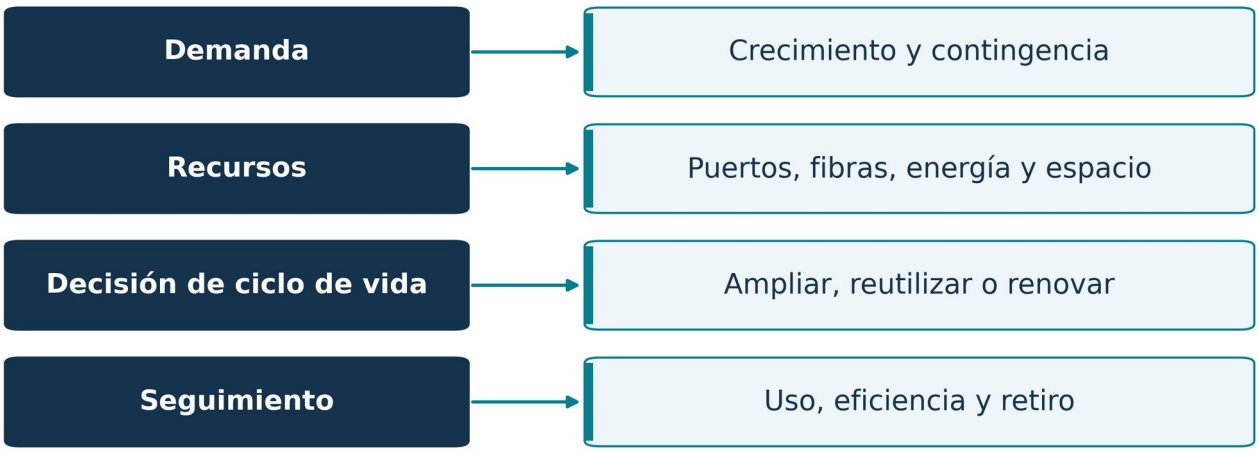


Figura 78.1. Capacidad y ciclo de vida. El seguimiento relaciona crecimiento, uso y retiro. Elaboración propia.

78.2 Medir energía y trabajo útil

Se medirán potencia y energía con límites definidos. Una potencia constante ficticia de 2 kW durante 8 760 horas representa 17 520 kWh anuales; la operación real puede variar con carga y estado. El cálculo sirve para revisar horas, medición y supuestos.

ISO/IEC 30134-2:2026 define PUE y sus reglas de medición e información. PUE relaciona energía del data center y de equipos IT bajo ese marco; no mide por sí sola eficiencia de una aplicación, emisiones ni rendimiento de un enlace. [214]

Para conectividad pueden compararse energía por servicio útil o volumen entregado con condiciones equivalentes. Debe conservarse capacidad, utilización, redundancia y carga. Una cifra por bit a máxima carga no describe automáticamente un sistema que opera con otra ocupación.

Tabla 78.1. Medir energía y trabajo útil

Recurso	Seguimiento	Decisión de ciclo de vida
Fibras y puertos	Aptitud, uso y reservas por dominio.	Ampliar, reasignar o liberar.
Equipos y ópticas	Capacidad, consumo y soporte.	Consolidar o renovar con pruebas.
Espacio y caminos	Ocupación y acceso de mantenimiento.	Ordenar o ampliar infraestructura.
Licencias	Prestaciones y vigencia.	Renovar o cambiar arquitectura.
Repuestos	Compatibilidad y condición.	Mantener cobertura o retirar.

78.3 Reutilizar con caracterización suficiente

Reutilizar fibra requiere conocer estado, recorrido y compatibilidad con la nueva aplicación. Una entrega de mayor tasa o distinto modo puede necesitar otra evaluación de pérdidas, CD, PMD o transmisión. La evidencia antigua conserva valor si su alcance sigue siendo pertinente.

La reutilización de paneles, casetes y ópticas exige correspondencia de medio, polaridad, densidad y condiciones. Se inspeccionará y probará el canal resultante. Que un componente encaje no demuestra interoperabilidad ni margen.

El análisis incluirá costo y materiales evitados, pero también riesgo, energía y soporte. Mantener un equipo fuera de soporte puede afectar recuperación; sustituirlo sin comprobar compatibilidad puede crear otra vulnerabilidad operativa.

78.4 Renovar y retirar sin perder trazabilidad

La renovación tendrá inventario de dependencias, ruta de migración, capacidad temporal y retorno. Los indicadores posteriores comprobarán que la mejora se produjo bajo condiciones comparables. El retiro se realizará después de aceptación y observación apropiadas.

Se eliminarán conexiones, configuraciones, licencias y reservas que dejaron de ser necesarias, con gestión adecuada de datos y materiales. El inventario mantendrá historial del activo retirado. Liberar un puerto solo en el sistema comercial deja una inconsistencia física.

En un caso ficticio una consolidación reduce equipos, pero reúne dos dominios en un chasis. El análisis de ciclo de vida detecta que el ahorro altera continuidad. La alternativa final conserva separación y compara consumo bajo la arquitectura realmente aceptada.

78.5 Crecimiento y utilización por recurso

Con 24 racks por edificio, cada dominio necesita 96 fibras y dispone de 144: quedan 48, equivalentes a 33,33 % de capacidad instalada. Si el edificio crece a 32 racks con la misma aplicación, la demanda pasa a 128 fibras y quedan 16, solo 11,11 %. El porcentaje total del campus no corrige esa reserva local.

Para mantener al menos 25 % libre de capacidad instalada, 128 fibras de demanda requieren un mínimo matemático de 171 fibras. El producto y la distribución reales pueden llevar a seleccionar 192, sujetos a paneles, canalizaciones y compatibilidad. Esa opción permanece prevista hasta construirla y probarla. La evaluación de reutilización conserva condiciones ópticas, operativas y de mantenimiento; la reducción de energía debe medirse junto con trabajo útil y continuidad.

Entrega del capítulo. Plan de fases con estado real y reservas por dominio.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Qué recurso limita el próximo servicio?
2. ¿La reserva tiene una función de contingencia?
3. ¿La métrica energética usa condiciones equivalentes?
4. ¿La reutilización conserva compatibilidad y margen?

Parte 14 Casos integrados del océano a la aplicación

Los casos integrados aplican las decisiones del libro al recorrido completo. Cada uno termina en comprobaciones y decisiones que pueden documentarse con las fichas de los anexos.

Capítulo 79 Conexión internacional completa

Al terminar este capítulo, el lector podrá Integrar el recorrido internacional con un expediente de decisión.

Términos esenciales. Ficha maestra = datos de referencia del proyecto; integración = relación de los alcances de entrega.

Este caso integral es ficticio y reúne el recorrido internacional hasta una aplicación de data center. La organización requiere transportar un servicio Ethernet de 40 Gb/s entre dos sitios, con acceso a servidores en el destino. Los valores son didácticos; los límites definitivos deben surgir del diseño y del contrato.

79.1 Fijar requisito y cadena de responsables

El sitio de origen entrega tráfico en su borde al carrier internacional. El servicio cruza transporte terrestre, una estación de amarre, un sistema submarino y otra estación; continúa por backhaul hasta el campus de destino. Allí pasa por MMR, distribución a sala blanca, rack, borde del cliente y red de servidores.

Se asigna un responsable contractual del servicio internacional, aunque utilice infraestructura de terceros. El data center asume la conexión interna acordada y el cliente administra borde y aplicación. Una matriz precisa quien prueba cada alcance y quien integra los resultados.

La ficha declara interfaz física de 100 Gb/s con compromiso de servicio de 40 Gb/s. También define MTU y tratamiento de etiquetas, direcciones de prueba y requisitos temporales por sentido o RTT. El servicio no promete 100 Gb/s porque la interfaz tenga esa velocidad.

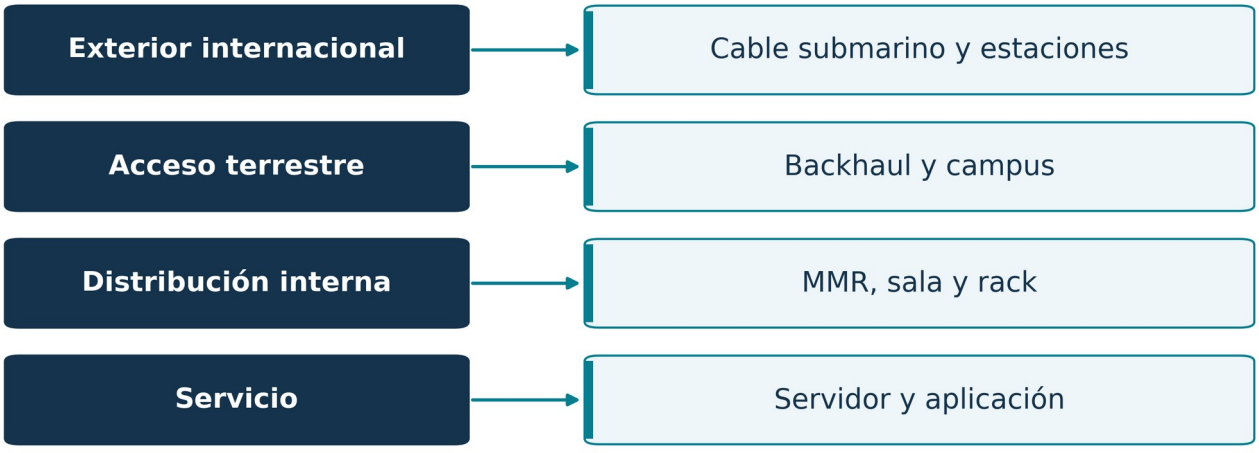


Figura 79.1. Recorrido internacional por alcances. Las demarcaciones enlazan evidencia externa, distribución interna y aplicación. Elaboración propia.

Tabla 79.1. Fijar requisito y cadena de responsables

Alcance del caso	Elementos y funciones	Responsable de evidencia
Sistema submarino	Planta sumergida, terminales y supervisión.	Operador especializado y carrier contratante.
Backhaul	Transporte de estación a campus.	Operador terrestre y carrier.
Data center	Entrada, MMR, paneles y distribución.	Operador de instalación interna.
Rack y borde	Latiguillos, interfaces, perfil y rutas.	Parte definida por demarcación.
Aplicación	Servidores, identidad, datos y transacción.	Cliente y equipo de plataforma.

79.2 Seguir equipos y demarcaciones

En las estaciones se identifican terminales de línea y alcance de supervisión sin atribuir al cliente acceso a la planta húmeda. En el transporte terrestre se registran adaptaciones o regeneraciones. En el MMR, el ODF del carrier se relaciona con el panel de interconexión y la orden de cross connect.

La distribución interna termina en un panel del rack. El latiguillo conecta ese punto con el equipo de demarcación o borde que fija el contrato. Se identifican propietario, administrador, alimentación y punto de prueba. No se da por incluida una extensión que la orden no contempla.

A partir del borde, la red del cliente utiliza switches y NIC de servidores. Los caminos hacia DNS, identidad y almacenamiento forman parte de la aplicación. La representación permite explicar por qué el carrier puede cumplir su UNI mientras la transacción falla después de ella.

79.3 Integrar pruebas de medio y transmisión

El operador submarino aporta el expediente y supervisión correspondientes al sistema y al alcance contratado. No se exige al cliente ejecutar OTDR convencional a través de repetidores. Se revisan configuración de terminales, estabilidad y margen junto con restricciones de evidencia.

El backhaul aporta ruta, caracterización de fibra o transporte según la entrega y estados alternativos acordados. La planta interna se prueba por canal y conexiones finales: identidad, inspección, pérdida y OTDR cuando corresponde al protocolo. Los resultados se concilian con cada fibra y plano.

Las mediciones de CD y PMD se solicitan donde el diseño y el modo las necesitan. Se conservan unidades, método y relación con las tolerancias de transmisión. La recepción no mezcla el valor de una sección de fibra con una lectura de DSP de todo un alcance sin explicar sus diferencias.

79.4 Aceptar Ethernet transporte y operación útil

Se instalan generadores compatibles en las demarcaciones del servicio y se verifica identidad, MTU y perfil. La configuración y las prestaciones se evalúan bajo carga y en ambos sentidos. Las pruebas externas se complementan con resultados del canal interno hasta el rack.

Después se ejecuta TCP entre hosts identificados y una transferencia real. En un ejemplo de RTT de 80 ms, 40 Gb/s representan un BDP de 400 MB decimales. El dato ayuda a revisar ventanas y extremos; no garantiza que el disco, cifrado o aplicación sostengan esa tasa.

La operación final comprueba resolución, autenticación, transferencia, integridad y persistencia según el requisito. Se conservan CPU, memoria y almacenamiento para distinguir límites. La firma de red y la validación de aplicación tienen objetos propios dentro del mismo expediente.

79.5 Probar alternativa y cerrar el recorrido

El caso incluye una ruta internacional de respaldo con capacidad comprometida suficiente para la función mínima. Se revisan recursos comunes, incluido backhaul y entrada al campus. Un cable submarino distinto no basta si el acceso terrestre sigue compartido.

Durante una falla controlada se observan pérdida, recuperación, prestaciones y transacción; después se verifica retorno. La ruta alternativa puede tener otro retardo y necesita cumplir el criterio previsto para contingencia. Los resultados quedan asociados a su estado concreto.

El expediente relaciona orden comercial, circuito internacional, segmentos, conexiones internas, equipos y aplicación. Una incidencia futura puede seguir esa cadena hasta su responsable sin confundir lo que se midió con lo que se infirió. Los anexos C a K ofrecen las fichas para construir esa trazabilidad.

79.6 Ficha maestra del proyecto conductor Campus Faro

El proyecto conductor utiliza dos accesos de 40 Gb/s comprometidos sobre interfaces físicas de 100 Gb/s. La carga total inicial es 32 Gb/s. Alfa entrega por MMR-A y Beta por MMR-B. Los nombres y todos los registros de este proyecto son ficticios y sus resultados están simulados para reproducir el aprendizaje. El diseño sigue el recorrido internacional hasta una transacción de aplicación y conserva las mismas identidades en el texto y en el kit.

Tabla 79.2. Ficha maestra del proyecto conductor Campus Faro

Dato maestro	Ruta A	Ruta B
Carrier y entrada	Alfa y entrada A	Beta y entrada B
Recorrido submarino ilustrativo	5800 km	6400 km
Recorrido terrestre ilustrativo	700 km	1100 km
Longitud óptica total usada en el caso	6500 km	7500 km
Capacidad comprometida	40 Gb/s	40 Gb/s
Demanda en operación normal	16 Gb/s	16 Gb/s
Demanda si queda como único acceso	32 Gb/s	32 Gb/s
Objetivo de proyecto RTT p99	90 ms	105 ms

La propagación mínima estimada con 200 000 km/s es de 32,5 ms por sentido en A y 37,5 ms en B, antes de procesamiento y colas. Estos pisos no se presentan como predicción de percentiles ni prueba de geografía. El ejemplo de 80 ms de RTT del taller TCP es una condición redondeada de laboratorio para estudiar ventanas; la serie IP conserva sus RTT simulados específicos.

79.7 Entregables desde la factibilidad hasta la operación

1. REQ-R01 fija capacidad, demarcaciones y funcionamiento requerido en falla. La ficha de factibilidad conserva los tramos aún pendientes.
2. El plano de diversidad relaciona carriers, sistemas, backhaul, entradas y dominios interiores con la matriz SRLG.
3. La ingeniería asigna MMR, paneles, cross connects y seis troncales a los tres edificios. Los puertos y fibras mantienen identificadores.
4. Los protocolos P-39 a P-61 definen medios, transmisión, servicio y aplicación. Cada criterio identifica su origen y su condición de ensayo.
5. El expediente final concilia resultados, no conformidades y configuración. El acta FARO-ACT-02 registra el alcance aceptado y cualquier reserva.
6. La operación recibe procedimientos, contactos, repuestos, datos de referencia y acceso a los archivos originales.

79.8 Resultados que cambian una decisión

La primera conciliación OLTS contiene 3448 resultados conformes, cuatro indeterminados y cuatro no conformes. Las dos fibras afectadas se intervienen y repiten, hasta obtener 3456 resultados finales conformes. La primera prueba de clases Ethernet incumple retardo en C1 y C2 bajo carga conjunta; la repetición tras corregir clasificación queda dentro del criterio de proyecto.

La serie IP de A bajo carga cumple el objetivo de p99 de RTT, pero pierde cuatro sondas de 9000 e incumple el límite IP ilustrativo de 10^{-4}. Por ello esa serie no permite aceptar todo el requisito. La investigación, corrección y repetición son una tarea separada. El expediente de ejemplo mantiene ese punto pendiente hasta disponer de una nueva serie válida; no inventa una repetición favorable que el conjunto de datos no contiene.

Esta diferencia obliga a decidir por requisito: puede cerrarse la cobertura de fibra y la repetición Ethernet mientras el requisito IP conserva una reserva explícita. Un acta de aceptación total sin esa evidencia sería incoherente. Los modelos cumplimentados del kit muestran una recepción parcial con el pendiente IP identificado y sin firmas reales.

Entrega del capítulo. Expediente completo de Campus Faro con aceptación parcial.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Quién integra evidencia de terceros?
2. ¿La extensión de MMR al rack está incluida y probada?
3. ¿El host dispone de condiciones para utilizar el servicio?
4. ¿La alternativa evita los riesgos que se pretendía tolerar?

Capítulo 80 Dos carriers y dos MMR

Al terminar este capítulo, el lector podrá Verificar dos carriers y dos MMR frente a una falla definida.

Términos esenciales. Capacidad sobreviviente = recurso disponible tras la falla; diversidad = independencia frente a una amenaza definida.

El caso ficticio entrega un cliente por dos carriers y dos MMR. El objetivo es conservar una demanda de 32 Gb/s cuando se pierde un acceso completo. Cada carrier ofrece 40 Gb/s comprometidos sobre una interfaz física de 100 Gb/s. La diversidad debe comprobarse desde el exterior hasta los equipos y servicios del cliente.

80.1 Dibujar caminos y extremos reales

El camino A entra al campus por el acceso acordado, llega al ODF del carrier en MMR A y cruza un cross connect hasta la distribución A del cliente. Un troncal lleva el servicio a un panel A del rack; un latiguillo lo conecta al borde A.

El camino B utiliza otro acceso y MMR B, distribución B, panel B y borde B. El plano identifica cables, fibras, puertos, rutas y penetraciones, además de energía de los equipos. La representación no da por demostrada independencia de tramos externos que no tienen evidencia.

El servicio del cliente dispone de mecanismos de enrutamiento y política que permiten utilizar el acceso sobreviviente. La configuración debe evitar que una ruta instalada siga apuntando a un destino que perdió conectividad. La prueba observará tráfico de salida y retorno.

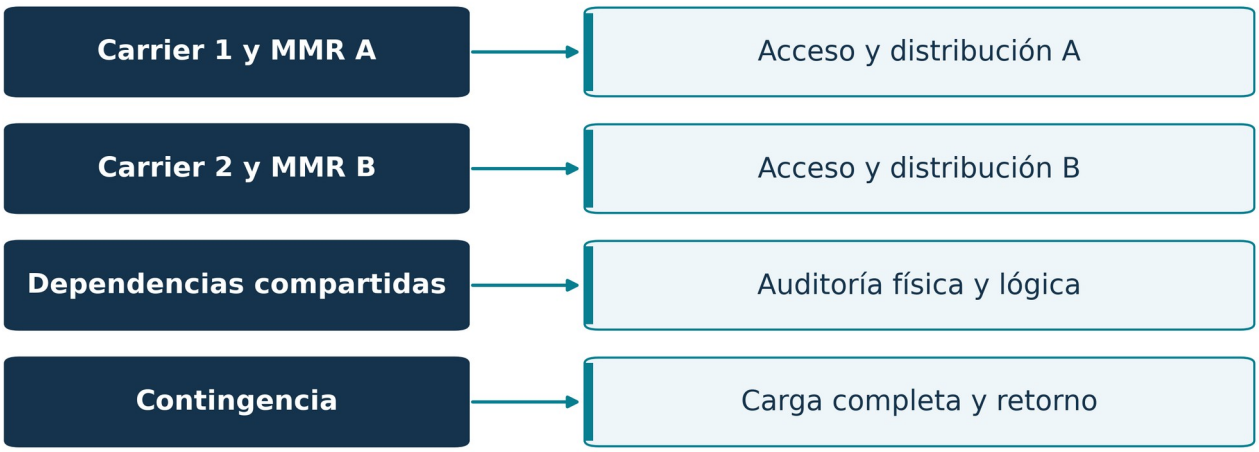


Figura 80.1. Dos caminos y su auditoría. La capacidad de contingencia y las dependencias comunes forman parte del caso. Elaboración propia.

Tabla 80.1. Dibujar caminos y extremos reales

Elemento del caso	Camino A	Camino B
Demarcación	UNI del carrier A identificada.	UNI del carrier B identificada.
Entrega interna	MMR A, distribución A y panel A.	MMR B, distribución B y panel B.

Elemento del caso	Camino A	Camino B
Borde	Equipo A y energía documentada.	Equipo B y energía documentada.
Compromiso	40 Gb/s sobre puerto de 100 Gb/s.	40 Gb/s sobre puerto de 100 Gb/s.
Carga normal del ejemplo	16 Gb/s.	16 Gb/s.

80.2 Auditar diversidad física lógica y comercial

El cliente solicita al proveedor contractual información de tramos y recursos compartidos. Se identifican operadores de infraestructura y riesgos comunes. Comprar a empresas distintas no demuestra que sus circuitos no compartan planta o estación.

Dentro del campus se siguen bandejas, cámaras y penetraciones. Se comprueba que el dominio A no dependa de un panel o soporte cuya intervención exponga simultáneamente B. Se registran limitaciones de separación y se relacionan con escenarios de incendio, daño o mantenimiento.

En la capa lógica se revisan VRF, políticas, rutas, sesiones y destinos. Las dependencias de DNS, identidad, firewall y balanceador pueden ser comunes incluso si los enlaces son diversos. El diseño debe decidir qué fallas de esos recursos pretende tolerar.

80.3 Calcular capacidad y aceptar cada servicio

En normalidad se transportan 16 Gb/s por cada acceso. Durante la pérdida de uno, el sobreviviente recibe 32 Gb/s: el 80 % de su compromiso de 40 Gb/s, con 8 Gb/s nominales restantes. La reserva no cubre cualquier crecimiento o ráfaga; el perfil y la mezcla deben comprobarse.

Si el proyecto hubiera contratado solo 20 Gb/s por acceso, ambas entregas podrían sostener la carga normal y resultar insuficientes para 32 Gb/s durante contingencia. La interfaz física de 100 Gb/s no corrige ese compromiso menor.

Primero se aceptan medios y servicios por separado: identificación, pérdida, transmisión y perfil pertinentes. Después se prueba operación simultánea, tamaños y clases. Se conserva la configuración de borde y el estado de las rutas para comparar la contingencia.

80.4 Ejecutar fallas y retorno con tráfico

El protocolo retira de manera controlada el acceso A bajo autorización y observa el cambio a B. Se miden pérdida, recuperación sostenida, carga de 32 Gb/s y transacciones. Se verifica que el retorno externo utiliza un camino disponible y que no aparece una política incompatible.

Se recupera A y se comprueba retorno o permanencia según diseño. Luego, desde un estado sano documentado, se repite el escenario sobre B. Las pruebas de equipo y dominio MMR requieren casos propios; desconectar un puerto no equivale a simular toda una sala.

La gestión fuera de banda debe seguir disponible. Se validan alarmas y contactos de ambos operadores. Las configuraciones temporales se retiran y el inventario conserva versión, resultados y recursos realmente utilizados.

80.5 Resolver el hallazgo y cerrar

En el ejemplo, la auditoría descubre que los dos troncales internos comparten una penetración. El cliente puede tolerar la pérdida de un acceso, pero no el evento definido sobre ese punto común. El expediente registra la limitación mientras se construye una alternativa.

Después de corregir el recorrido se repiten pruebas del canal modificado y la contingencia pertinente. El cierre declara qué escenarios fueron comprobados y qué riesgos permanecen. La oferta de dos carriers y dos MMR adquiere un significado verificable para ese cliente.

80.6 Capacidad superviviente y alcance de la independencia

Los dos accesos del Campus Faro tienen 40 Gb/s de CIR. En normalidad cada uno transporta 16 Gb/s; al perder A, B recibe 32 Gb/s y dispone nominalmente de 8 Gb/s de compromiso sin utilizar. Esa diferencia no es una reserva para otro cliente si debe sostener ráfagas, crecimiento o condiciones acordadas de la contingencia. La capacidad física de 100 Gb/s no amplía el CIR.

Tabla 80.2. Capacidad superviviente y alcance de la independencia

Escenario del ejercicio	Carga en A	Carga en B	Condición a verificar
Normal	16 Gb/s	16 Gb/s	Reparto y prestaciones de ambas entregas
Pérdida de A	0	32 Gb/s	Servicio y aplicación sobre B
Pérdida de B	32 Gb/s	0	Servicio y aplicación sobre A
Pérdida de toda MMR-A	Según recursos afectados	32 Gb/s previstos	Que la alternativa evite equipos y soporte de la sala perdida

80.7 Ejercicio de auditoría y recepción parcial

La revisión encuentra un puente común P-17 en el backhaul y una penetración común PEN-02 hacia E02. La ficha de diversidad registra ambos riesgos. La corrección de proyecto separa el recorrido B del puente y propone una penetración independiente. Hasta que obra ejecutada, inventario y evidencias confirmen esa separación, la independencia frente a esos eventos continúa condicionada.

El ensayo de desconexión de un puerto comprueba el comportamiento ante ese puerto perdido. Para declarar tolerancia a la pérdida de MMR-A se revisan todos sus recursos y se utiliza un escenario que represente el dominio completo dentro de las condiciones autorizadas. La entrega puede seguir dependiendo de identidad, DNS o almacenamiento comunes; esa exposición se analiza con el objetivo de recuperación de la aplicación.

80.8 Decisión resuelta

Si se confirma que B puede entregar solo 20 Gb/s durante mantenimiento, el compromiso superviviente resulta insuficiente para los 32 Gb/s. El acta debe reflejar el déficit de 12 Gb/s. La organización decide entre ampliar capacidad, modificar prioridades y función mínima, o cambiar solución. La decisión se valida con la carga que realmente migrará, incluida la coexistencia de clases y las restricciones del retorno.

Entrega del capítulo. Ensayo de 32 Gb/s sobre el acceso sobreviviente y auditoría SRLG.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿Los 32 Gb/s caben en el compromiso sobreviviente?
2. ¿Se verificaron tramos de terceros?
3. ¿El retorno externo se mantiene disponible?
4. ¿El ensayo de puerto se distingue del dominio completo de MMR?

Capítulo 81 Campus con varios edificios

Al terminar este capítulo, el lector podrá Dimensionar y probar seis troncales sin mezclar reservas locales.

Términos esenciales. Troncal de edificio = distribución hacia un edificio; cobertura = correspondencia con el conjunto exigido.

El campus ficticio tiene tres edificios, cada uno con una sala inicial de 24 racks, y dos dominios de distribución. Los servicios externos ingresan a MMR A y MMR B del campus. El proyecto necesita llegar a cada edificio, crecer por fases y mantener trazabilidad sin concentrar todos los caminos en un único corredor.

81.1 Asignar distribución de campus y edificio

Cada MMR entrega un troncal de su dominio a la distribución correspondiente de cada edificio. Desde allí se organiza la sala y el rack. Los planos distinguen interconexión de edificios, distribución interna y enlaces activos DCI cuando existan.

Un troncal entre edificios puede llevar fibras de varios servicios y reservas. Deben identificarse cable, fibra, empalmes y terminaciones; no se asignará la identidad de un solo circuito a toda la capacidad. Los permisos y accesos de mantenimiento se relacionarán con cada recorrido.

La presencia de dos MMR en el campus no elimina la necesidad de revisar distribución local. Si un edificio reúne A y B en un único panel o sala expuesta al mismo evento, ese riesgo debe modelarse y tratarse según el objetivo.

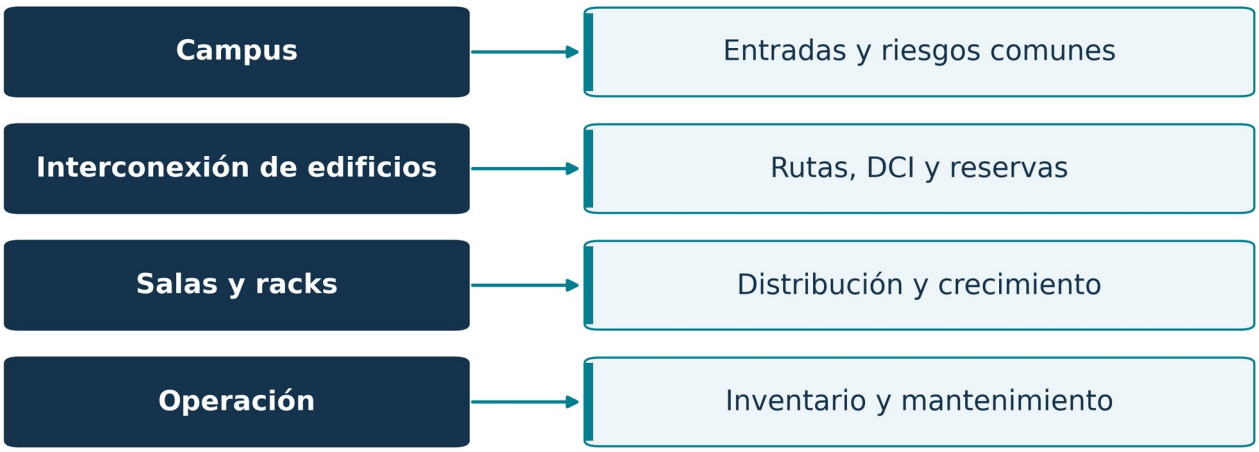


Figura 81.1. Capas de un campus. Cada edificio conserva rutas, reservas e inventario por dominio. Elaboración propia.

81.2 Dimensionar fibras y reservas por dominio

El supuesto didáctico asigna dos enlaces dúplex por rack y por dominio, con cuatro fibras por rack. Para 24 racks se requieren 96 fibras por edificio y dominio. Se selecciona un troncal de 144 fibras, dejando 48 libres, equivalentes al 33,3 % de la capacidad instalada.

Para tres edificios resultan 288 fibras demandadas y 432 instaladas por dominio. El otro dominio se calcula de manera independiente. No se considera que la reserva de A cubre una insuficiencia física de B, pues eso puede alterar el escenario de continuidad.

El cálculo debe complementarse con puertos, casetes, bandejas, espacio y medios compatibles. Las fibras reservadas tendrán identificación y cobertura de pruebas acordada. Instalar 144 fibras no significa disponer de 144 terminaciones aptas si parte quedó sin completar.

Tabla 81.1. Dimensionar fibras y reservas por dominio

Unidad del ejemplo	Demanda por dominio	Capacidad instalada por dominio
Un rack	4 fibras.	Parte del troncal de su edificio.
Un edificio de 24 racks	96 fibras.	144 fibras; 48 libres.
Tres edificios	288 fibras.	432 fibras; 144 libres.
Dominio alterno	Mismo cálculo independiente.	No se mezcla reserva entre dominios.

81.3 Resolver rutas y equipos entre edificios

Las rutas exteriores se revisan por ducto, cámara, cruce y acceso. Los caminos A y B deben contrastarse con el escenario que se desea tolerar. Una canalización común puede estar oculta bajo una separación que solo existe en los extremos.

Si se utilizan equipos activos entre edificios, se definirán ópticas, modo, presupuesto y capacidad. La decisión entre extender capa dos o usar interconexión enrutada dependerá de requisitos y riesgos de servicio. No se ampliará un dominio de falla únicamente por comodidad de direccionamiento.

La distancia afecta medio y transmisión, pero también retardo y recuperación. Se verificarán rutas principales y alternativas con las aplicaciones que dependan de ellas. La gestión y energía de los nodos de campus merecen el mismo análisis que los enlaces.

81.4 Construir por fases y aceptar cobertura

La primera fase instalará capacidad y reservas definidas sin presentar edificios futuros como construidos. Los contratos y planos señalarán qué ductos, cables y equipos existen, cuáles están preparados y cuáles requieren obra.

El plan de pruebas conciliará fibras, extremos, sentido y longitud de onda. Los canales finales incorporarán conexiones añadidas por cada cliente. La recepción de un troncal no sustituye la aceptación posterior del circuito completo hasta el rack.

Las intervenciones entre edificios deben coordinarse para no afectar ambos dominios simultáneamente. La orden incluirá servicios de todos los edificios que utilizan el recurso y el procedimiento de recuperación.

81.5 Caso de crecimiento y cierre de operación

En el ejemplo, un nuevo cliente pide tres enlaces dúplex por rack en un edificio. La nueva demanda por dominio es 24 por 6, igual a 144 fibras: consume toda la capacidad del troncal y elimina la reserva. El diseño debe ampliar o modificar el requisito antes de comprometer más crecimiento.

El cierre actualiza capacidad, planos y pruebas del edificio afectado. El modelo del campus permite consultar impacto de una cámara, un cable o un equipo y conserva los puntos comunes. La sostenibilidad del crecimiento depende de esa información y de un mantenimiento que respete los dominios.

81.6 Dimensionamiento completo de seis troncales

Cada edificio tiene 24 racks. Dos enlaces dúplex de dos fibras por rack y dominio producen 96 fibras de demanda por troncal. Hay dos dominios por edificio y tres edificios: seis troncales de 144 fibras, 864 fibras instaladas y 576 destinadas a la demanda inicial. Las 288 restantes son reserva física distribuida; una fibra libre en E01 no puede trasladarse administrativamente a E03.

Tabla 81.2. Dimensionamiento completo de seis troncales

Magnitud del Campus Faro	Resultado	Unidad y alcance
Demanda por rack y dominio	4	Fibras
Demanda por edificio y dominio	96	Fibras en una troncal
Instalación por edificio y dominio	144	Fibras aceptadas
Reserva por troncal	48	33,33 % de capacidad instalada
Instalación total	864	Seis troncales
Cobertura OLTS del plan	3456	Resultados: fibra por banda por sentido

81.7 Crecimiento de 24 a 32 racks por edificio

Con la misma aplicación, la demanda pasa a 128 fibras por troncal. Las 144 instaladas dejan 16 libres. Para conservar 25 % libre de la capacidad instalada se requiere al menos 128/0,75 = 170,67 fibras; el mínimo entero es 171. Una selección de 192 fibras deja 64, nuevamente 33,33 %, pero requiere comprobar producto, terminaciones, bandejas, espacio y forma de intervenir.

El escenario de crecimiento se marca como previsto. La operación continúa con 144 fibras instaladas hasta aceptar la ampliación. Si se realiza por fases, cada dominio debe conservar la separación y la capacidad que necesita durante el cambio. Los puertos y equipos asociados se dimensionan junto con el cable; una fibra física sin posición de terminación no completa una entrega.

81.8 Conciliación y resolución de la primera entrega

olts_inicial.csv y olts_final.csv permiten comparar dos estados sin sobrescribir el primero. Las ocho observaciones pendientes iniciales corresponden a dos fibras de TR-B-E02. Después de intervenir se repiten las cuatro combinaciones de longitud de onda y sentido de cada fibra. El cierre se comprueba por claves únicas, resultados válidos y configuración final, manteniendo los controles de referencia del montaje.

La hoja Cobertura del libro de cálculo permite filtrar troncal y fibra. Sus cálculos aplican la misma regla de decisión de 2,20 dB y U = 0,12 dB. El archivo sirve para aprender conciliación; para un proyecto real deben importarse los originales del instrumento, verificar su integridad y adaptar límites, incertidumbre y alcance.

Entrega del capítulo. Inventario de 864 fibras y conciliación de 3456 resultados.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La reserva se calcula por edificio y dominio?
2. ¿La infraestructura futura aparece con su estado real?
3. ¿Los enlaces activos amplían un dominio de falla?
4. ¿El crecimiento conserva espacio y capacidad de mantenimiento?

Capítulo 82 Plataforma de almacenamiento e IA

Al terminar este capítulo, el lector podrá Aceptar una plataforma de almacenamiento e IA por su trabajo útil.

Términos esenciales. Checkpoint = estado persistido para recuperar un trabajo; colectiva = operación coordinada entre participantes.

El caso ficticio integra dieciséis nodos de cómputo con ocho GPU cada uno, 128 GPU en total, y almacenamiento compartido. El servicio requiere entrada de datos, colectivas, checkpoints y recuperación. La aceptación relaciona conectividad exterior con el rendimiento interno del trabajo distribuido.

82.1 Definir redes funciones y extremos

El diseño distingue acceso de usuarios y datos, fabric de cómputo, acceso a almacenamiento y gestión. Esta separación es funcional; el proyecto decide qué recursos físicos comparte y qué aislamiento necesita. El plano identificará NIC, puertos, switches, rutas y alimentación.

Como supuesto, cada nodo dispone de cuatro interfaces de 200 Gb/s para la función prevista, sujetas a topología y soporte. Una interfaz representa 25 GB/s de tasa de bits expresada en bytes antes de sobrecargas; sumar cuatro da 100 GB/s nominales, pero no garantiza que una operación o un bus interno alcance esa cifra.

El inventario debe relacionar GPU, CPU, memoria y NIC para interpretar afinidad y transferencia. Los módulos y medios tendrán validación de compatibilidad. La densidad y consumo del rack se coordinarán con refrigeración y espacio de mantenimiento.

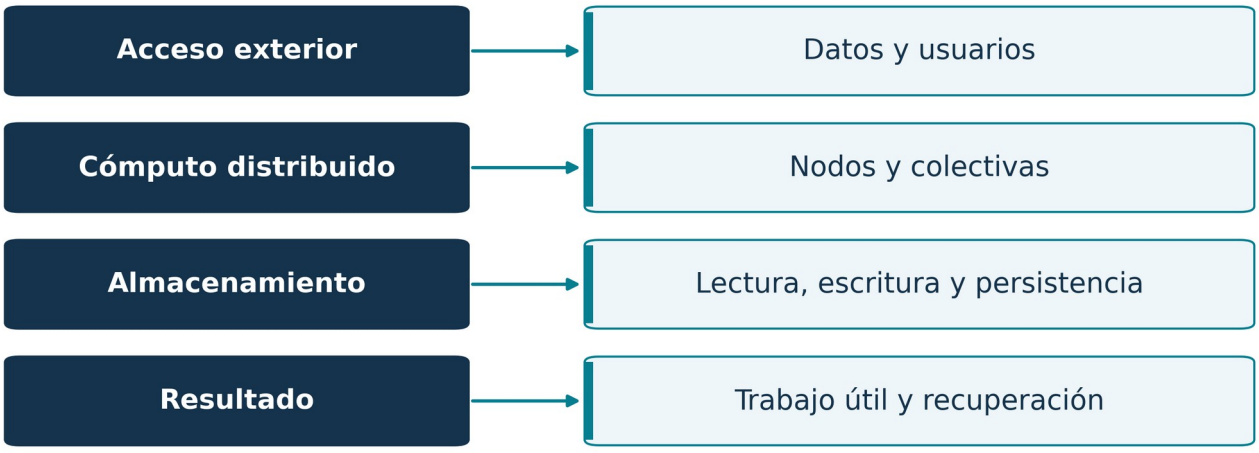


Figura 82.1. Funciones del caso de IA y almacenamiento. La aceptación observa trabajo útil y recuperación además de interfaces. Elaboración propia.

82.2 Dimensionar datos y cuello de botella

El almacenamiento del ejemplo entrega 60 GB/s útiles agregados bajo una mezcla y concurrencia determinadas. Leer 120 TB decimales a esa tasa constante requeriría al menos 2 000 segundos, unos 33 minutos y 20 segundos, sin considerar otras fases ni variaciones. Es una cota didáctica del supuesto.

Aumentar capacidad de la fabric de cómputo no reduce por sí solo esa cota si el origen sigue limitado a 60 GB/s. Deben revisarse distribución de datos, caché y consumo de nodos. Si parte del conjunto ya está en memoria, la prueba debe declararlo.

Los checkpoints compiten por escritura y pueden coincidir con lectura o réplica. El plan define tamaño, frecuencia, persistencia y capacidad durante reconstrucción. La reserva de continuidad necesita cubrir también el trabajo de recuperación.

Tabla 82.1. Dimensionar datos y cuello de botella

Trabajo del caso	Métrica principal	Condición a conservar
Entrada de datos	GB/s útiles y tiempo.	Conjunto, caché y concurrencia.
Colectivas	Tiempo por operación y variación.	Tamaño, participantes y topología.
Entrenamiento	Tiempo por paso o trabajo.	Modelo, datos y versiones.
Checkpoint	Tiempo y estado persistente.	Volumen y mezcla de carga.
Falla y recuperación	Trabajo recuperado y tiempo.	Camino, nodo o servicio afectado.

82.3 Aceptar componentes fabric y colectivas

Se verifican medios, velocidad, ancho de enlace, errores y configuración. Después se prueban pares dentro y entre nodos para reconocer límites internos. La selección de interfaces debe coincidir con la fabric prevista y no con un camino auxiliar disponible.

Se ejecutan colectivas representativas con tamaños pequeños y grandes, y distintas ubicaciones de participantes. Los resultados conservarán tiempo, corrección, algbw y busbw con su definición. El factor de busbw de NCCL Tests depende de la operación y no es un contador de una sola NIC. [197]

Bajo concurrencia se observan colas, descartes, ECN y respuesta del extremo. Si el diseño utiliza PFC, se comprueban pausas y su efecto. Las políticas se evaluarán por progreso del trabajo completo, además del rendimiento máximo aislado.

82.4 Escalar y ensayar contingencia

El ensayo aumenta nodos y datos conservando una pregunta clara: escalado fuerte para un trabajo fijo o débil para trabajo que crece con recursos. Sus resultados no se compararán como si midieran lo mismo. Se observarán tiempos y variación entre repeticiones.

La pérdida controlada de un camino de almacenamiento comprueba multipath y continuidad. La pérdida de un nodo puede requerir reinicio del trabajo o recuperación desde checkpoint según la plataforma. El protocolo debe reflejar capacidades reales, sin prometer continuidad transparente si la aplicación no la ofrece.

Se validan integridad y estado de datos, tiempo hasta trabajo útil y capacidad mientras se reconstruye. La red puede recuperar antes que el trabajo; ambos tiempos quedan separados en el expediente.

82.5 Resolver el límite descubierto

En el caso, las colectivas aisladas cumplen, pero el entrenamiento se detiene periódicamente cuando todos los nodos escriben checkpoints y leen el siguiente conjunto. La correlación muestra competencia en almacenamiento y su red de acceso, con la fabric de cómputo sin saturación.

El equipo modifica planificación y reparto conforme a los requisitos, vuelve a medir persistencia y repite contingencia. La entrega final incluye tiempos del trabajo, configuración y límites de escala. La mejora se demuestra en la operación que el cliente necesita completar.

82.6 Plataforma de 128 GPU y límites de sus dominios

La plataforma del caso contiene 16 nodos con ocho GPU cada uno, 128 en total. La prueba declara un proceso por GPU para la colectiva de 128 ranks, junto con versiones y colocación. Cuatro interfaces de 200 Gb/s por nodo suman 100 GB/s nominales por sentido antes de sobrecargas; la topología PCIe, enlaces locales, software y almacenamiento deben admitir la aplicación. La suma comercial de interfaces no prueba ese resultado.

82.7 Aceptación escalonada con datos del taller

Las pruebas de 8 y 16 ranks exploran subconjuntos y no representan todavía toda la plataforma. La colectiva de 128 ranks utiliza 1000 millones de bytes por rank. Su condición inicial tarda 150 ms y, tras la corrección didáctica del reparto y la congestión, 60 ms. El requisito de ese ensayo es un máximo de 65 ms con la mezcla y configuración declaradas. La revisión conserva ambas condiciones y comprueba corrección de resultados.

Tabla 82.2. Aceptación escalonada con datos del taller

Trabajo	Prueba que lo representa	Dato que debe conservarse
Comunicación entre GPU	Pruebas locales y entre nodos	Topología, tamaños y errores
Colectiva completa	128 ranks con colocación definida	Tiempo, algbw, busbw y revisión del programa
Entrada de datos	Lectura concurrente con la colectiva	Caché, tasa y competencia
Checkpoint	Escritura y recuperación verificadas	Persistencia, integridad y tiempo
Contingencia	Pérdida de camino y reconstrucción	Progreso, recuperación y restricciones

El ejemplo de leer 120 TB a 60 GB/s corresponde al dominio interno de almacenamiento y supone 2000 s a tasa constante. No corresponde a la conexión externa de 40 Gb/s. Esta distinción evita comparar capacidad entre dominios diferentes. Las pruebas de almacenamiento declaran mezcla, bloques, profundidad de cola y estado de caché.

82.8 Decisión del caso

La colectiva corregida cumple el ensayo de 65 ms, pero la aceptación de la plataforma exige los otros trabajos y sus escenarios. Si el checkpoint deja datos que no pueden recuperarse, la prueba de red no cierra ese requisito. La decisión se formula por operación y escala; el tiempo de entrenamiento se mide con la carga representativa y no se infiere multiplicando el cambio de busbw.

Entrega del capítulo. Pruebas de comunicación datos persistencia y recuperación.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿La suma nominal de NIC cabe en el nodo?
2. ¿La prueba declara caché y persistencia?
3. ¿El escalado mantiene la misma definición?
4. ¿El checkpoint permite recuperar el trabajo y los datos?

Capítulo 83 Migración incidente y recuperación

Al terminar este capítulo, el lector podrá Migrar con retorno y cerrar un incidente con evidencia.

Términos esenciales. Criterio de parada = condición observable que detiene un cambio; recuperación funcional = retorno de la operación válida.

El último caso ficticio reúne migración, incidente y recuperación de un servicio activo. El cliente traslada su distribución desde un panel antiguo a una nueva ruta por fases. La meta es mejorar capacidad sin perder continuidad y dejar una línea base que represente la instalación final.

83.1 Preparar el origen, el destino y el retorno

Se identifica el servicio con sus dos caminos, equipos, puertos, perfil y aplicación. El estado previo incluye pruebas pertinentes, contadores y transacción válida. El inventario se compara con campo para no migrar una conexión distinta de la prevista.

El destino se instala y prueba antes del cambio: identidad, correspondencia, condición de conectores, pérdida y transmisión según el medio. Se reserva capacidad temporal y se mantiene el camino anterior disponible para retorno durante el período acordado.

El MOP indica secuencia por dominio, ventana, responsables y condiciones de parada. Se confirma que no existen trabajos simultáneos del carrier sobre la alternativa. La gestión fuera de banda y los contactos se prueban antes de intervenir.

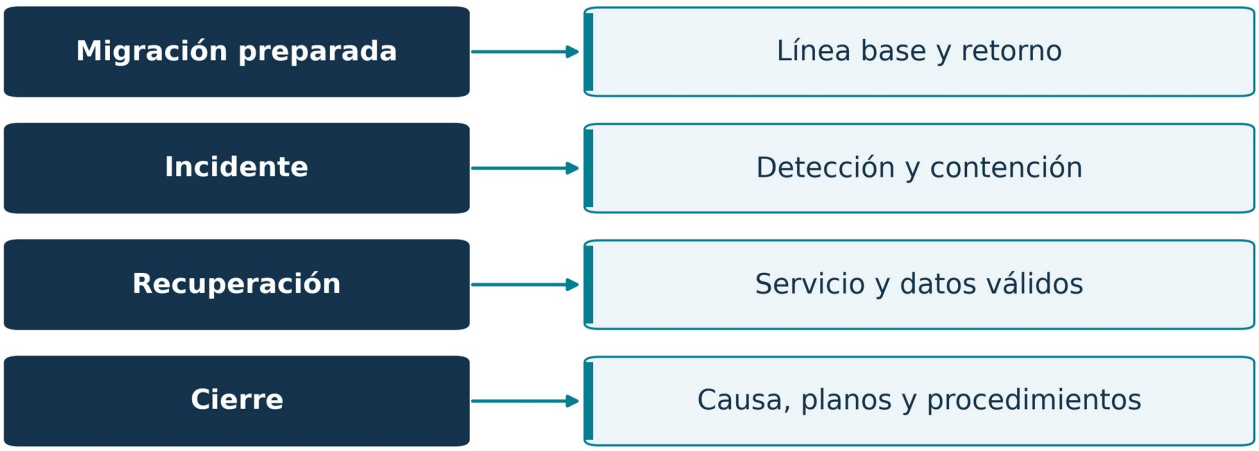


Figura 83.1. Migración e incidente. La recuperación termina con validación y actualización de la realidad documentada. Elaboración propia.

83.2 Ejecutar y detectar la desviación

La intervención comienza por un camino mientras el otro sostiene la función acordada. Después de conectar el destino aparecen errores y la aplicación pierde operaciones. El técnico registra el instante y detiene la secuencia antes de modificar el segundo dominio.

Se preservan alarmas, contadores y pruebas sin borrar el estado que permite explicar el evento. La comparación confirma que el destino recibido físicamente no coincide con la correspondencia esperada del casete. La evidencia señala una hipótesis concreta que puede comprobarse.

El coordinador mantiene una cronología común con el NOC y el cliente. La comunicación informa impacto y acción de recuperación confirmada. No atribuye una causa definitiva al proveedor antes de completar la revisión.

Tabla 83.1. Ejecutar y detectar la desviación

Hora relativa ficticia	Evento	Evidencia o decisión
00:00	Línea base y prerrequisitos confirmados.	Servicio sano y retorno disponible.
00:10	Cambio del primer dominio.	Orden y extremos registrados.
00:12	Errores y operaciones fallidas.	Alarmas y contadores preservados.
00:14	Parada y decisión de retorno.	Segundo dominio sin intervenir.
00:18	Camino anterior restituido.	Tráfico vuelve y se observa.
00:25	Operación válida sostenida.	Validación de aplicación y red.

83.3 Recuperar servicio y reconocer tiempos

El retorno restituye los extremos anteriores con inspección y comprobación correspondientes. Se observa tráfico, rutas y aplicación. El primer paquete recuperado no se toma como cierre si todavía existen errores o sesiones sin restablecer.

En la cronología, el síntoma comienza a 00:12 y la validación sostenida ocurre a 00:25: se registran trece minutos hasta ese hito bajo la definición del caso. El tiempo de retorno físico y el de recuperación funcional se conservan por separado.

La prueba de datos comprobará operaciones que pudieron quedar incompletas, reintentos y consistencia conforme a la aplicación. El equipo de red no declarará resuelto ese alcance sin la evidencia del responsable de plataforma.

83.4 Corregir y repetir la migración

La investigación coteja casete, mapa de fibras, orden, pruebas previas y montaje. Descubre que un ensayo de continuidad no había confirmado la correspondencia final de todos los puertos utilizados. La aceptación previa del componente no cubría el canal configurado para el cliente.

Se corrigen mapa y montaje, se repiten las pruebas afectadas y se revisa la cobertura. La nueva ventana conserva retorno y ejecuta un dominio cada vez. El segundo camino solo se modifica después de aceptar el primero y verificar la alternativa.

El ensayo final observa capacidad normal, contingencia, alarmas y operación útil. Después del período acordado se autoriza el retiro del origen y se liberan recursos. Las decisiones quedan relacionadas con pruebas y responsables.

83.5 Cerrar causa documentación y aprendizaje

El informe distingue desencadenante, condición técnica y brecha del proceso. Las acciones incluyen verificar correspondencia de canal, mejorar revisión de evidencia y actualizar formación. Cada una tendrá responsable, fecha y criterio de cierre, en vez de limitarse a recomendar más cuidado.

Se actualizan planos conforme a obra, inventario, reservas, línea base y procedimientos. El expediente conserva versiones previas para explicar el incidente y una versión vigente inequívoca. Las restricciones temporales se retiran o reciben un plan de resolución.

El recorrido del libro termina donde debe comenzar la operación diaria: un servicio identificable, medible y recuperable. Desde el cable submarino hasta el servidor y la aplicación, cada conexión tiene recursos, responsables y evidencia. Los anexos siguientes convierten ese enfoque en fichas y protocolos reutilizables.

83.6 MOP y registro de la intervención

El cambio traslada la conexión XC-A-0001 a un panel nuevo mientras B conserva la función acordada. La línea base incluye transacción correcta, respaldo sano y retorno disponible. El MOP exige detenerse ante identidad discrepante, alarma no prevista o pérdida de la operación. El segundo dominio permanece sin intervenir hasta aceptar el primero.

Tabla 83.2. MOP del traslado con control de parada y retorno

Fase	Acción y comprobación	Rol y condición de parada	Evidencia de cierre
Antes del traslado	Confirmar identidad, servicio sano, alternativa y acceso de gestión; verificar el destino.	Coordinación y especialistas de cada alcance; detener si faltan prerrequisitos.	Orden, pruebas previas, mapa y condición de retorno.
Un dominio	Ejecutar solo el dominio previsto y conservar el segundo sin intervenir.	Ejecutor autorizado; parar ante errores, pérdida funcional o estado no conocido.	Registro de acción, contadores y observación de la aplicación.
Desviación	Detener nuevas acciones y conservar evidencias antes de decidir.	Coordinación, NOC y cliente según la autoridad pactada.	Alarmas, estados y decisión relacionada con la cronología maestra.
Retorno	Restituir el camino anterior y verificar tráfico y función sostenida.	Rol autorizado; no declarar recuperación solo por conectar el cable.	Prueba funcional y estado final con referencia temporal común.
Cierre	Conciliar casete, mapa, orden y prueba; aceptar el primer dominio antes de intervenir el otro.	Ingeniería y operación revisan causas y condiciones para repetir.	Versión de MOP, acciones correctivas e inventario actualizado.

83.7 Cálculo de tiempos y causa contrastada

El síntoma comienza a 00:12 y la validación funcional sostenida se registra a 00:25. El tiempo hasta ese hito es 13 minutos. La restitución física a 00:18 no cierra por sí sola la recuperación funcional. La cronología utiliza una referencia común; un proyecto real debe conservar precisión, fuente y condiciones de esos registros.

La revisión identifica una transformación de posiciones del casete que no estaba representada en el mapa del canal. La prueba inicial de continuidad no había validado toda la correspondencia que utiliza la aplicación. Se corrigen mapa y montaje, se repite pérdida y correspondencia, y se añade al procedimiento el contraste que habría detectado la discrepancia antes de mover el servicio.

83.8 Cierre y repetición controlada

1. Actualizar inventario y plano del canal con el componente realmente instalado. Relacionar la corrección con la incidencia.
2. Preparar de nuevo el destino y comprobar los extremos, presupuesto y mapa antes de trasladar servicio.
3. Ejecutar un solo dominio, validar servicio y aplicación, y mantener retorno durante el periodo acordado.
4. Aceptar el primer dominio antes de actuar sobre el segundo. Verificar estado final de ambos caminos y retirar recursos temporales.
5. Cerrar con versión del MOP, evidencias y acciones posteriores; comprobar que operación puede recuperar la información.

El anexo J y el documento de formularios del kit incluyen el modelo de MOP y la cronología. Las firmas permanecen como campos para el proyecto que los adopte. El ejemplo registra la decisión del ejercicio sin simular una aprobación de personas reales.

Entrega del capítulo. MOP cronología y acciones que corrigen causa y proceso.

Preguntas para aplicar el capítulo

Orientaciones de respuesta: anexo H

1. ¿El retorno permaneció disponible hasta aceptar el destino?
2. ¿Se detuvo el cambio antes de exponer ambos dominios?
3. ¿El tiempo final corresponde a una función válida?
4. ¿La corrección actualizó campo, inventario y procedimiento?

Anexos y herramientas de trabajo

Las fichas siguientes se pueden copiar y completar para un proyecto. Cada registro debe identificar servicio, activo, versión, fecha y responsable. Un dato pendiente se mantiene visible y no se interpreta como conformidad. Los números de los ejemplos no sustituyen los límites del diseño ni del contrato.

Anexo A Glosario español e inglés y siglas

Las definiciones siguientes son operativas para este libro. La definición formal aplicable a un contrato o ensayo procede del documento y edición que se hayan adoptado. Una misma sigla puede tener otro significado fuera de este contexto.

Tabla A.1. Glosario español e inglés y siglas

Término o sigla	Equivalente o desarrollo	Uso en el recorrido
AOC	Active Optical Cable	Cable óptico activo con extremos integrados.
API	Application Programming Interface	Interfaz programática; su respuesta debe contrastarse con el estado y la función. Cap. 71.
AS / ASN	Autonomous System / Autonomous System Number	Sistema autónomo y su identificador en relaciones BGP. Cap. 36.
Backhaul	Transporte de retorno o enlace de acceso	Une una estación o punto de agregación con otra red.
BDP	Bandwidth–Delay Product	Producto de tasa y RTT; cantidad de datos en vuelo.
BER	Bit Error Ratio	Proporción de bits erróneos; indicar punto pre o post FEC.
BGP	Border Gateway Protocol	Protocolo de intercambio de rutas y políticas entre vecinos; distinguir sesión activa y alcance útil. Cap. 36.
BOM	Bill of Materials	Lista de materiales ligada a planos, especificaciones y revisión. Cap. 73.
CD	Chromatic Dispersion	Dispersión cromática; distinguir ps/nm de ps/(nm·km).
CIR	Committed Information Rate	Tasa comprometida bajo el perfil acordado.
CLS	Cable Landing Station	Estación de amarre del sistema submarino.
COTDR	Coherent Optical Time Domain Reflectometry	Técnica de supervisión cuyo uso depende del sistema submarino.
Cross connect	Conexión cruzada	Conexión física entre terminaciones identificadas.
DAC	Direct Attach Copper	Cable de cobre de conexión directa entre interfaces compatibles.
DCI	Data Center Interconnect	Interconexión entre data centers, con alcance físico y de servicio.
DCIM	Data Center Infrastructure Management	Gestión de infraestructura; relaciona activos, ubicación y capacidad.
DGD	Differential Group Delay	Retardo diferencial de grupo, normalmente en ps.
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol	Asignación de parámetros a hosts según el servicio y su configuración. Cap. 38.
DNS	Domain Name System	Resolución de nombres que participa en la entrega y recuperación de aplicaciones. Cap. 38.
DPU	Data Processing Unit	Procesamiento de funciones de infraestructura en el extremo; compatibilidad y recursos forman parte de la prueba. Cap. 32.
DSP	Digital Signal Processor	Procesamiento digital de la señal del modo óptico utilizado. Cap. 9 y 29.
ECMP	Equal-Cost Multipath	Selección entre caminos de igual costo; el reparto depende de flujos e implementación. Cap. 31.
ECN	Explicit Congestion Notification	Señalización de congestión que requiere respuesta del extremo.
EDA	Equipment Distribution Area	Área funcional de distribución hacia equipos bajo la arquitectura de cableado adoptada. Cap. 19 y 22.
EIR	Excess Information Rate	Tasa excedente definida por el perfil; no equivale a CIR.

Término o sigla	Equivalente o desarrollo	Uso en el recorrido
EoR	End of Row	Ubicación de equipos de acceso al final de una fila, según arquitectura. Cap. 31.
EVPN	Ethernet VPN	Plano de control para servicios Ethernet; en el ejemplo se relaciona con BGP y VXLAN. Cap. 35.
FAT	Factory Acceptance Test	Prueba de aceptación en fábrica con alcance y criterios acordados. Cap. 74.
FEC	Forward Error Correction	Corrección de errores; identificar código y modo.
Goodput	Tasa útil	Datos útiles entregados por unidad de tiempo al nivel declarado.
GPU	Graphics Processing Unit	Procesador utilizado en cómputo paralelo; su trabajo útil condiciona la prueba de red. Cap. 33 y 61.
GSNR	Generalized Signal-to-Noise Ratio	Indicador de calidad; conservar definición y método del sistema.
HBA	Host Bus Adapter	Adaptador de host para conectividad de almacenamiento; identificar transporte y compatibilidad. Cap. 32.
HDA	Horizontal Distribution Area	Área funcional de distribución horizontal bajo el esquema adoptado. Cap. 19 y 22.
HPC	High-Performance Computing	Cómputo de alto desempeño; exige definir cargas, escala y métricas de trabajo. Cap. 33 y 61.
IA	Inteligencia artificial	Carga y plataforma cuya aceptación requiere comprobar cómputo, datos, red y operación. Cap. 33 y 82.
IPAM	IP Address Management	Administración de direcciones y asignaciones con estado y responsable. Cap. 38.
IRU	Indefeasible Right of Use	Derecho de uso sujeto a alcance y condiciones contractuales.
IXP	Internet Exchange Point	Infraestructura de intercambio entre redes; no equivale por sí sola a tránsito IP. Cap. 3 y 36.
Jitter	Variación temporal	Término ambiguo: declarar la métrica exacta y su cálculo.
LOA / CFA	Letter of Authorization / Customer Facility Assignment	Autorización y asignación de extremos según el procedimiento de las partes. Cap. 20 y 26.
MDA	Main Distribution Area	Área funcional de distribución principal del esquema de cableado adoptado. Cap. 19 y 22.
MMR	Meet-Me Room	Sala de interconexión entre operadores y clientes.
MOP	Method of Procedure	Secuencia de una intervención concreta y su retorno.
MPTL	Modular Plug Terminated Link	Alcance de cobre con terminación en conector modular; requiere método y adaptadores pertinentes. Cap. 48.
MTU	Maximum Transmission Unit	Tamaño máximo de unidad; precisar capa y etiquetas.
NCCL	NVIDIA Collective Communications Library	Biblioteca de colectivas; registrar versión, topología, carga y escala del ensayo. Cap. 61.
NIC	Network Interface Card	Interfaz de red del host; incluir puerto, controlador y afinidad.
NID	Network Interface Device	Equipo de demarcación; identificar qué termina y qué funciones puede medir. Cap. 30.
NOC	Network Operations Center	Equipo o centro que supervisa y coordina la operación.
NTP	Network Time Protocol	Sincronización temporal; declarar capacidad efectiva del reloj para la métrica. Cap. 38 y 59.
NVMe-oF	NVMe over Fabrics	Acceso NVMe sobre un transporte de red compatible; no confundir transporte y aplicación. Cap. 32.

Término o sigla	Equivalente o desarrollo	Uso en el recorrido
ODF	Optical Distribution Frame	Distribuidor óptico con terminaciones identificadas.
OLTS	Optical Loss Test Set	Conjunto de fuente y medidor para pérdida de inserción.
OOB	Out of Band	Gestión fuera de banda; revisar independencia real.
ORL	Optical Return Loss	Relación de potencia incidente y retornada del alcance completo.
OSNR	Optical Signal-to-Noise Ratio	Relación señal/ruido óptica con método y ancho de referencia.
OTDR	Optical Time Domain Reflectometer	Localiza y caracteriza eventos mediante retrodispersión.
OTN	Optical Transport Network	Estructuras de transporte, adaptación y supervisión óptica.
PDL	Polarization-Dependent Loss	Pérdida dependiente de polarización, expresada en dB; no es PMD. Cap. 45.
PFC	Priority-based Flow Control	Pausas por prioridad; analizar propagación y comportamiento.
PFE	Power Feeding Equipment	Alimentación del sistema submarino por personal especializado.
PMD	Polarization Mode Dispersion	Dispersión por modo de polarización; fenómeno estadístico.
PTP	Precision Time Protocol	Sincronización de relojes; verificar implementación y error para el ensayo concreto. Cap. 38 y 59.
QoS	Quality of Service	Clasificación y tratamiento de tráfico que se evalúan bajo condiciones de carga declaradas. Cap. 58.
RDMA	Remote Direct Memory Access	Acceso remoto a memoria con requisitos de plataforma y red.
RoCE	RDMA over Converged Ethernet	Transporte de RDMA sobre Ethernet; comprobar plataforma, red y comportamiento bajo carga. Cap. 33 y 61.
RPO / RTO	Recovery Point / Time Objective	Objetivos de pérdida de datos y tiempo de recuperación.
RTT	Round-Trip Time	Tiempo de ida y vuelta; no demuestra retardo unidireccional.
SAT	Site Acceptance Test	Prueba de aceptación en sitio con límites, configuración y evidencia acordados. Cap. 74.
SLA / SLO	Service Level Agreement / Service Level Objective	Acuerdo de servicio y objetivo medible; precisar extremos, períodos y excepciones. Cap. 5 y 76.
SLTE	Submarine Line Terminal Equipment	Equipo terminal de línea del sistema submarino.
SOP / EOP	Standard / Emergency Operating Procedure	Procedimientos de operación normal y emergencia.
SRLG	Shared Risk Link Group	Agrupación de enlaces expuestos a un riesgo común.
TCO	Total Cost of Ownership	Costo total bajo alcance, moneda y horizonte comunes; declarar los supuestos. Cap. 76.
TLS	Transport Layer Security	Protección de sesiones cuya terminación y dependencias forman parte de la aplicación. Cap. 38 y 60.
ToR	Top of Rack	Ubicación de equipos de acceso en el rack según arquitectura. Cap. 31.
UNI	User Network Interface	Interfaz de demarcación de un servicio Ethernet.
VRF	Virtual Routing and Forwarding	Separación de contextos de encaminamiento; verificar asignación y alcance efectivo. Cap. 34.
VXLAN	Virtual Extensible LAN	Encapsulación del overlay sobre transporte IP; revisar MTU, extremos y plano de control. Cap. 35.
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Multiplexación de canales ópticos por longitud de onda o frecuencia. Cap. 9 y 10.

Unidades: dB expresa una relación; dBm, potencia respecto de 1 mW. Gb/s son gigabits por segundo y GB/s, gigabytes por segundo. Aquí MB, GB y TB son decimales; si se usan MiB o GiB se declara base binaria. Una pérdida de inserción menor suele ser favorable; una ORL mayor suele indicar menor retorno. La reflectancia de un evento suele expresarse con signo negativo: no se compara su signo directamente con una ORL positiva.

Anexo B Simbología y dibujos del recorrido

Un plano útil conserva la identidad del servicio al pasar entre escalas. El esquema siguiente muestra dos caminos internos de ejemplo y una dependencia posterior compartida. No acredita diversidad exterior: las rutas hasta cada carrier necesitan su propia evidencia.

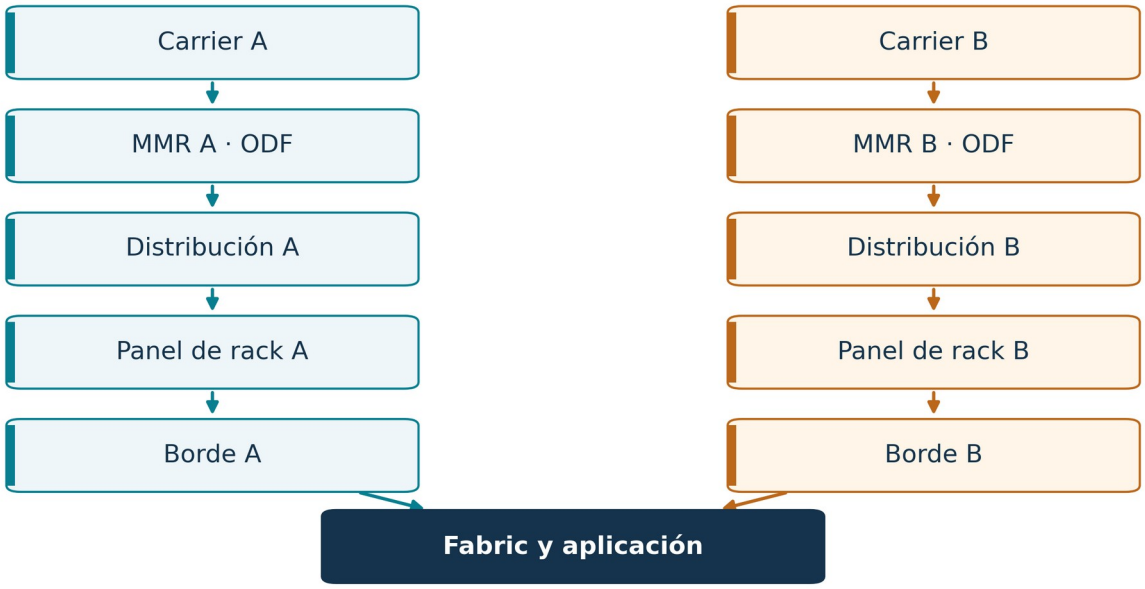


Figura B.1. Ejemplo de dos dominios hasta el borde y una fabric posterior compartida. Las líneas representan conexiones, no separaciones físicas certificadas. Elaboración propia.

Tabla B.1. Anexo B Simbología y dibujos del recorrido

Representación	Convención de este libro	Dato que debe acompañarla
Rectángulo	Sala, equipo o terminación según etiqueta.	ID, ubicación y propietario.
Línea continua	Conexión instalada, si el plano así lo declara.	Cable, fibras o puertos y versión.
Camino A / B	Dominios del diseño.	Recorrido físico, energía y riesgos comunes.
Conexión prevista	Debe rotularse como proyectada.	Obra pendiente y fecha de validación.
Límite de alcance	Demarcación física o lógica explícita.	Responsable y punto accesible de prueba.

Dibujar por separado: mapa geográfico exterior; rutas de campus y penetraciones; paneles y fibras; interfaces y red lógica; dependencias de aplicación. Todos deben compartir IDs de circuito y referencias cruzadas. Una flecha de tráfico no informa por sí sola qué ducto se utiliza.

B.2 Del océano al servicio entregado

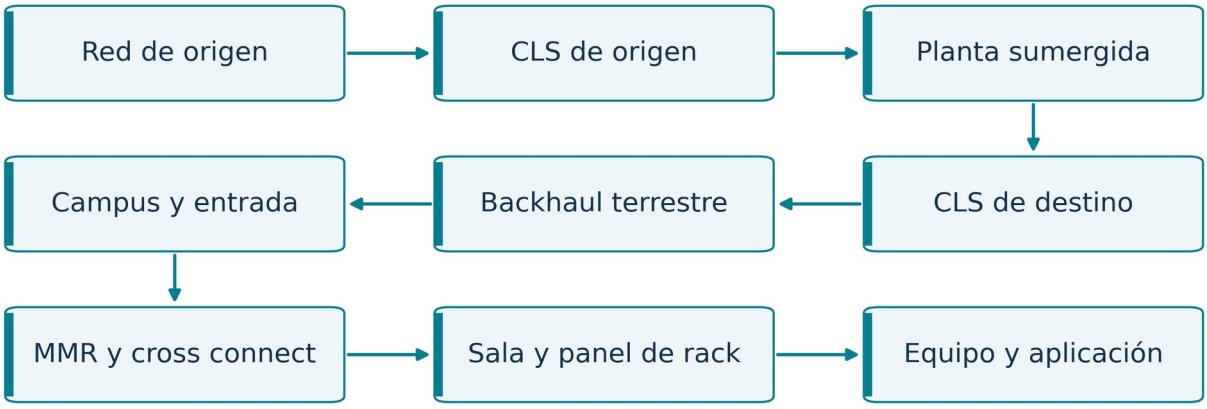


Figura B.2. Recorrido de referencia internacional hasta el equipo y la aplicación. Cada tramo conserva una demarcación y un responsable; la posición gráfica no representa distancia. Elaboración propia.

Tabla B.2. Del océano al servicio entregado

Escala	Qué representa el dibujo	Qué debe añadirse al proyecto
Sistema submarino	CLS de origen, planta sumergida y CLS de destino.	Sistema, segmento, terminales, arquitectura y operador.
Acceso terrestre	Backhaul hasta el campus.	Cable, ruta, terceros, entradas y riesgos compartidos.
Data center	MMR y distribución a sala y rack.	ODF, cross connect, troncal, fibras, panel y puerto.
Red lógica	Interfaz, servicio y destinos accesibles.	Perfil, etiquetas, rutas, seguridad y puntos de prueba.
Función final	Equipo del cliente y aplicación.	Host, identidad, almacenamiento, datos y transacción.

La cámara de playa y la transición terrestre se detallan en el plano de la estación; amplificación y alimentación se detallan en la documentación especializada del sistema. El plano comercial puede resumir rutas: debe distinguir ese resumen de un plano físico conforme a obra. Las restricciones de acceso a información se registran en la matriz de evidencia.

Anexo C Ficha de requisitos y factibilidad

Modelo C-01. Sustituir los campos entre corchetes. El responsable de factibilidad debe distinguir infraestructura próxima, acceso disponible, capacidad reservada y servicio entregable. Una respuesta comercial necesita evidencia de las cuatro condiciones que correspondan.

Tabla C.1. Anexo C Ficha de requisitos y factibilidad

Campo	Dato que debe registrarse
Control	ID [REQ-___]; versión [__]; fecha [__]; solicitante [__]; responsable [__].
Función	Aplicación y usuarios [__]; operación crítica [__]; crecimiento y horizonte [__].
Extremos	Sitio, edificio, sala, rack, panel, puerto o UNI A [__] y Z [__].
Producto	Fibra oscura / canal óptico / Ethernet / IP / otro [__]; incluidos y excluidos [__].
Capacidad	Velocidad física [__]; CIR/EIR o compromiso aplicable [__]; sentidos y clases [__].
Perfil	MTU y capa [__]; etiquetas [__]; policer/shaper [__]; ráfagas y medición de tasa [__].
Prestaciones	Retardo [métrica, límite, sentido]; variación [definición]; pérdida [__]; disponibilidad [__].
Continuidad	Fallas a tolerar [__]; capacidad degradada [__]; RTO/RPO [__]; retorno [__].
Recorrido	Ruta principal [__]; alternativa [__]; MMR [__]; terceros y puntos comunes [__].
Medios y equipos	Fibra, conectores, ópticas, FEC y compatibilidad [__]; energía y gestión [__].
Operación	Accesos y ventanas [__]; contactos [__]; observabilidad [__]; plazos y dependencias [__].
Aceptación	Protocolo y ediciones [__]; límites y regla de decisión [__]; evidencia [__]; firmantes [__].

Decisión de factibilidad: [viable / viable con condiciones / no viable / pendiente]. Condiciones previas, responsable, fecha y evidencia de cierre: [__]. Fecha de vencimiento de la reserva: [__]. No presentar como instalada una ampliación necesaria para cumplir el requisito.

C.2 Ejemplo de resolución de factibilidad

Ejemplo ficticio C-EX-01: acceso Ethernet con 40 Gb/s comprometidos por cada una de dos UNI físicas de 100 Gb/s. La demanda agregada prevista es 32 Gb/s; debe conservarse durante pérdida de un acceso. El cliente exige dos MMR y continuidad de su transacción definida.

Tabla C.2. Ejemplo de resolución de factibilidad

Comprobación	Evidencia inicial	Resolución requerida
Llegada exterior	Dos carriers ofertan acceso; tramo final sin plano.	Solicitar trazado y recursos compartidos al proveedor contractual.
Capacidad	40 Gb/s comprometidos por acceso.	32/40 = 80 % en contingencia; probar mezcla y ráfagas acordadas.
Distribución	MMR A y B existen; troncal B requiere obra.	Reserva condicionada a construir, medir y recibir B.
Entrega	UNI identificadas; extensión al rack no contratada.	Agregar orden de conexión interna y demarcación hasta el rack.
Extremos	Borde compatible; perfil de MTU pendiente.	Cerrar matriz de interfaz, FEC, MTU y etiquetado.
Aplicación	El acceso a identidad depende de un solo servicio.	Definir tratamiento de esa dependencia y ensayo de función.

Resultado: viable con condiciones. El expediente contiene tareas abiertas; todavía no autoriza declarar el servicio entregado. El compromiso de fecha depende de obra y permisos, provisión del carrier y pruebas conjuntas. La aceptación física de la troncal no cierra por sí sola el servicio Ethernet ni su aplicación.

Tabla C.3. Ejemplo de resolución de factibilidad

Campo	Dato que debe registrarse
Condición abierta	ID [__]; requisito afectado [__]; impacto y solución [__].
Propietario y plazo	Responsable de ejecutar [__]; quien verifica [__]; fecha [__].
Cierre	Evidencia [__]; cambio de versión [__]; decisión [__]; firma y fecha [__].

C.3 Campus Faro: ficha de requisitos resuelta

Proyecto FARO-R2, didáctico y simulado. El cliente necesita operación internacional y acceso a una plataforma interna de 128 GPU. Las cifras de transporte externo y almacenamiento interno pertenecen a dominios distintos. El expediente declara aceptación parcial, sin firmas ficticias.

Tabla C.4. Campus Faro: ficha de requisitos resuelta

Requisito	Valor y método	Estado del caso
Accesos exteriores	Dos interfaces 100G; CIR de 40 Gb/s cada una	Ethernet probado en ambos sentidos
Contingencia nominal	32 Gb/s por el acceso sobreviviente	80 % del CIR; validar todas las funciones
Retardo IP	RTT p99: A ≤ 90 ms; B ≤ 105 ms	Cumple en las series simuladas
Pérdida IP	Máximo de proyecto 0,0001	A bajo carga: 4/9000; requiere repetición
Canales internos	Seis troncales de 144 fibras	3456 resultados OLTS finales conformes
Diversidad	Evitar amenazas comunes identificadas	P-17 y PEN-02 pendientes
Continuidad de aplicación	RTO 30 min y RPO 15 min	Identidad de 34 min no cumple RTO

La factibilidad inicial es viable con condiciones. El cierre de cada condición necesita responsable, fecha y evidencia real cuando se adapte esta ficha. Las cifras de este caso no constituyen una recepción de infraestructura existente.

Anexo D Matrices de rutas y responsabilidades

D-01. Una fila por segmento y por camino. Registrar “desconocido” cuando falte evidencia. Una carta de diversidad y un recorrido de campo son evidencias diferentes y deben identificarse como tales.

Tabla D.1. Anexo D Matrices de rutas y responsabilidades

Segmento y camino	Identidad y riesgo común	Evidencia y responsable
Exterior / A	Carrier, operador de planta, cable, CLS y backhaul [__].	Documento [__]; alcance restringido [__]; dueño [__].
Exterior / B	Mismos campos; comparación con A [__].	Riesgos conocidos y desconocidos [__].
Campus / A y B	Entrada, cámara, ducto, penetración, MMR y energía [__].	Plano y recorrido [__]; evento común [__].
Interior / A y B	Bandeja, cable, fibras, panel, sala y rack [__].	Inventario y fotos autorizadas [__].
Equipos y servicio	Borde, software, OOB, identidad, DNS y almacenamiento [__].	Configuración y prueba de dependencia [__].

D.2 Asignación de responsabilidades

Modelo de asignación: R ejecuta; A responde por la decisión; C se consulta; I recibe información. Cada actividad tendrá un A inequívoco. Los roles del ejemplo se reemplazan por nombres y contactos; la matriz no modifica por sí sola un contrato.

Tabla D.2. Asignación de responsabilidades

Actividad	Asignación de ejemplo	Evidencia o decisión
Activar carrier	R: carrier; A: responsable del servicio; C: cliente.	UNI, perfil y pruebas externas.
Construir cross connect	R: instalador autorizado; A: operador del DC; C: carrier y cliente.	Orden, mapa y pruebas del alcance.
Aceptar canal interno	R: equipo de medición; A: receptor designado.	Cobertura y conformidad con límites.
Probar aplicación	R: plataforma; A: propietario de aplicación; C: red.	Transacción válida y datos.
Coordinar contingencia	R: equipos de cada dominio; A: coordinador de prueba.	Autorización, parada, retorno y resultado.

D.3 Campus Faro: matriz de interfaces y riesgos

Tabla D.3. Campus Faro: matriz de interfaces y riesgos

Interfaz o riesgo	Responsable del ejemplo	Comprobación y decisión
Sistema submarino A/B	Operador autorizado de cada sistema	Expediente y supervisión según arquitectura
Backhaul y tramo BT-A01	Carrier correspondiente	Ruta, caracterización y servicio
Puente P-17 compartido	Integrador y carriers	Pendiente de ruta alternativa comprobada
Penetración PEN-02 compartida	Edificio	Pendiente de separación ejecutada
MMR y distribución interna	Operador del campus	Planos y cobertura por dominio
Host y aplicación	Cliente	Carga, transacción y recuperación

La matriz identifica roles ficticios. El formulario editable permite sustituirlos por responsables de un proyecto, incluidos terceros y aceptantes. Una matriz RACI no modifica las responsabilidades contractuales sin el acuerdo correspondiente.

Anexo E Inventarios y órdenes de conexión

E-01. El inventario relaciona servicio, circuito, cable, fibra y puerto, sin tratarlos como un mismo objeto. El estado previsto, reservado, instalado, probado, en servicio o retirado se conserva por separado. Una reserva no demuestra disponibilidad operativa.

Tabla E.1. Anexo E Inventarios y órdenes de conexión

Campo	Dato que debe registrarse
Control	ID activo [__]; tipo [__]; versión [__]; propietario [__]; administrador [__].
Ubicación	Sitio [__]; edificio [__]; sala [__]; rack [__]; posición [__]; dominio A/B [__].
Cable	ID [__]; origen/destino [__]; tipo de fibra [__]; cantidad [__]; longitud y método [__].
Terminaciones	Panel/casete/puerto en A [__] y Z [__]; conectores y pulido [__]; fibras y polaridad [__].
Ruta y reservas	Plano/versión [__]; ductos/bandejas [__]; holguras [__]; capacidad libre comprobada [__].
Equipo	Fabricante/modelo/serie [__]; software [__]; alimentación y OOB [__].
Interfaz	Slot/puerto [__]; velocidad/modo/FEC [__]; módulo y serie [__]; compatibilidad [__].
Servicio asociado	ID contractual [__]; circuito [__]; perfil [__]; demarcación [__].
Estado y evidencia	Estado actual [__]; fecha [__]; prueba [__]; orden de último cambio [__].
Relaciones	Recursos ascendentes/descendentes [__]; servicios afectados [__]; contactos [__].

Ejemplo ficticio: cable TR-A-01, fibra 007, enlaza MMR-A/ODF-01/07 con SALA-1/PP-A/07. El circuito CC-001 usa las fibras 007 y 008, más latiguillos identificados hasta sus extremos finales. No se asigna el nombre CC-001 a todas las fibras libres del cable.

E.2 Orden de conexión y registro de ejecución

E-02. Una orden ejecutable identifica ambos extremos antes de autorizar el trabajo. La dirección “rack del cliente” es insuficiente. La fotografía puede complementar el registro, pero debe respetar los permisos de seguridad y confidencialidad del sitio.

Tabla E.2. Orden de conexión y registro de ejecución

Campo	Dato que debe registrarse
Control de orden	OT [__]; solicitud relacionada [__]; circuito [__]; versión [__]; ventana y zona horaria [__].
Acción y alcance	Alta / cambio / migración / baja [__]; recursos afectados [__]; exclusiones [__].
Extremo A	Sitio/sala/rack/panel/casete/puerto/fibra [__]; equipo/puerto si corresponde [__].
Extremo Z	Mismos campos [__]; demarcación de cada parte [__].
Material	Cable o latiguillo [__]; longitud [__]; fibra [__]; conectores/pulido [__]; etiqueta [__].
Precondiciones	Autorización [__]; reserva [__]; alternativa sana [__]; identidad de puertos validada [__].
Ejecución	Técnico [__]; verificador [__]; hora real [__]; pasos ejecutados y desviaciones [__].
Pruebas	Identidad/polaridad [__]; inspección [__]; pérdida [__]; otras [__]; límites y resultados [__].
Activación	Estado óptico y lógico [__]; tráfico o transacción [__]; alarmas [__]; observación [__].
Cierre o retorno	Decisión [__]; recursos liberados [__]; plano/inventario actualizados [__]; firma [__].

Antes de una baja se identifican dependencias y se confirma que la capacidad no sigue comprometida. Se retiran conexiones, configuración y reservas bajo el procedimiento aprobado. El registro conserva el estado anterior y la evidencia de retiro, evitando dejar un puerto ocupado que figure como libre.

E.3 Campus Faro: orden de cross connect cumplimentada

Tabla E.3. Campus Faro: orden de cross connect cumplimentada

Campo	Valor del ejemplo
Orden / servicio / estado	XC-A-0001 / FARO-ETH-A / instalación física probada
Extremo de carrier	MMR-A, rack CA-A, ODF-ALFA, puertos 01–02
Extremo de distribución	MMR-A, rack DA-A, ODF-DA-01, puertos 01–02
Troncal y fibras del ejemplo	TR-A-E01, fibras 001–002
Destino del canal	E01, sala SB-01, rack R01, PP-A, puertos 01–02
Equipo de entrega	NID-A, interfaz cliente y latiguillos identificados
Revisión y alcance	FARO-R2; identidad, mapa y pérdida entre planos declarados

Campo	Valor del ejemplo
Límite de la aceptación	La prueba física no cierra por sí sola la pérdida IP ni la diversidad

El esquema del capítulo 23 explica la cadena completa. Los identificadores de interfaz del NID y de los latiguillos se completan con el equipo realmente seleccionado; no se simulan modelos, números de serie ni certificados de calibración inexistentes.

Anexo F Cálculos y dimensionamiento

F-01. Hoja de presupuesto óptico. Cada entrada incluye valor, unidad, fuente y tolerancia. El ejemplo es un cálculo de proyecto, no un límite universal para fibra ni un sustituto de las especificaciones completas de la interfaz.

$A_{diseño} = \alpha \cdot L + N_c \cdot a_c + N_e \cdot a_e + A_{otros}$. Se incluyen pérdida distribuida, conexiones acopladas, empalmes y otros elementos que realmente atraviesa el canal. El número de conexiones se obtiene del plano final, no del número de cables.

Tabla F.1. Anexo F Cálculos y dimensionamiento

Entrada ficticia	Valor	Cálculo
Longitud y atenuación de diseño	2 km; 0,35 dB/km	0,70 dB.
Conexiones acopladas	4; 0,30 dB por conexión	1,20 dB.
Empalmes	2; 0,10 dB por empalme	0,20 dB.
Otros elementos	0 dB	Total de diseño: 2,10 dB.
Presupuesto disponible	6,00 dB	Según interfaz y condiciones del supuesto.
Reserva asignada	1,00 dB	Margen restante: 6 – 2,10 – 1 = 2,90 dB.

$P_{rx} = P_{tx} - A_{total}$. Para el extremo débil se combinan potencia mínima del transmisor y pérdida máxima del canal; para riesgo de sobrecarga, potencia máxima y pérdida mínima. Se comprueban ambas condiciones con el receptor y el modo concretos. En WDM también importan espectro, ruido, filtrado y penalizaciones; una cuenta de dB no demuestra por sí sola transmisión correcta.

$M = B_{disponible} - A_{diseño} - R$. Declarar si R ya incluye reparaciones, envejecimiento, cambios y tolerancias evita contarlos dos veces. La incertidumbre de medición y la reserva de ingeniería tienen funciones distintas; su tratamiento se explica en la regla de decisión.

Tabla F.2. Anexo F Cálculos y dimensionamiento

Campo	Dato que debe registrarse
Campos del proyecto	Longitud de onda [__]; interfaz/modo [__]; entradas y fuentes [__]; restricciones [__]; responsable y revisión [__].

F.2 Capacidad, tiempo, dispersión y unidades

Tabla F.3. Capacidad, tiempo, dispersión y unidades

Problema	Expresión y ejemplo ficticio	Interpretación
Fibras por dominio	24 racks × 2 enlaces dúplex × 2 fibras = 96 fibras.	Con 144 instaladas quedan 48: 33,3 % del total instalado.
Contingencia	32 Gb/s de demanda / 40 Gb/s comprometidos = 80 %.	Validar ráfagas, mezcla y capacidad del resto del camino.
Datos en vuelo	10×10^9 bit/s × 0,080 s / 8 = 100 MB.	BDP decimal; revisar ventanas, hosts y transporte.
Transferencia ideal	120 TB / 60 GB/s = 2 000 s.	33 min 20 s a tasa útil constante; faltan otras fases.
Cola transitoria	Exceso de 20 Gb/s durante 2 ms = 5 MB.	Drenaje nominal a 100 Gb/s: 0,4 ms, sin nueva carga.
CD uniforme	17 ps/(nm·km) × 80 km = 1 360 ps/nm.	Supuesto a una longitud de onda; no extrapolar a toda la banda.
PMD aproximada	0,10 ps/√km × √100 km = 1 ps.	Valor del modelo estadístico; no fija una DGD instantánea.

Fórmulas de referencia del ejemplo: $BDP_{bytes} = \frac{C_{bit/s} \cdot RTT_s}{8}$; $T_{mín} = \frac{V_{bytes}}{G_{bytes/s}}$; $Q_{bytes} = \frac{(R_{entrada} - R_salida) \cdot t}{8}$. La tasa útil y la tasa de línea no son intercambiables. El cálculo de cola supone exceso positivo, intervalo conocido y almacenamiento suficiente; el equipo real puede descartar antes.

$CD_{total} \approx D \cdot L$ supone una sección uniforme. Para secciones distintas se conserva signo y dependencia espectral. $PMD_{enlace} \approx D_{PMD} \cdot \sqrt{L}$ es una aproximación bajo supuestos estadísticos, no una suma lineal ni una predicción de todo instante. Se necesita método, banda, condiciones y compatibilidad del modo de transmisión.

Registro de cálculo: ID [__]; requisito [__]; entradas con fuente [__]; hipótesis [__]; unidades [__]; sensibilidad [__]; reserva [__]; verificador [__]; versión [__]. Un resultado numérico sin esos campos no es una base suficiente para aceptar un servicio.

F.3 Campus Faro: cálculo óptico resuelto

Pérdida de diseño: 1,9 km × 0,35 dB/km + 4 × 0,25 dB + 4 × 0,05 dB = 1,865 dB. Presupuesto de aplicación 2,50 dB; reserva de reparación 0,30 dB; límite de entrega 2,20 dB. La reserva se descuenta una sola vez. El modelo debe sustituirse por valores y tolerancias de los componentes realmente especificados.

Incertidumbre estándar combinada: raíz de $(0{,}04^2 + 0{,}03^2 + 0{,}02^2 + 0{,}02^2) = 0{,}05745$ dB, suponiendo aportes independientes. Con k = 2 resulta 0,11489 dB; el caso adopta 0,12 dB. Con lectura de 2,16 dB, el intervalo 2,04–2,28 dB cruza 2,20 dB: decisión indeterminada.

F.4 Capacidad, TCP y confianza BER resueltos

Tabla F.4. Capacidad, TCP y confianza BER resueltos

Cálculo	Operación	Resultado e interpretación
Demanda por troncal	24 racks × 2 dúplex × 2 fibras	96 fibras
Reserva por troncal	144 − 96	48 fibras; 33,33 % de lo instalado
Cobertura OLTS	6 × 144 × 2 bandas × 2 sentidos	3456 resultados únicos válidos
BDP del escenario TCP	$40 \times 10^9 \times 0{,}080 / 8$	400 MB decimales
Cota de ventana de 64 MB	$64 \times 10^6 \times 8 / 0{,}080$	6,4 Gb/s ideales
BER: cero errores al 95 %	$-\ln(0{,}05)/(100 \times 10^9 \times 30)$	Aproximadamente $9{,}99 \times 10^{-13}$
AllReduce: 128 ranks y 60 ms	$(10^9 / 0{,}060) \times 2 \times 127/128$	busbw ≈ 33,073 GB/s

El modelo BER supone bits válidos y errores independientes bajo condiciones estacionarias; su cota unilateral es frecuentista. El libro de cálculo utiliza una aproximación estable cuando la fórmula exacta sufre cancelación numérica. Los valores de busbw siguen la normalización de nccl-tests y no son contadores físicos de todos los enlaces.

Anexo G Fichas de medición

G-00. Encabezado común para todos los ensayos. Copiarlo junto con la ficha específica. Los valores de ejemplo de este libro no deben incorporarse automáticamente como límites de aceptación. El alcance accesible al cliente puede ser menor que el operado por un carrier; esa diferencia queda documentada.

Tabla G.1. Anexo G Fichas de medición

Campo	Dato que debe registrarse
Identidad y alcance	Ensayo [__]; servicio [__]; activo/fibra/puerto [__]; A [__]; Z [__]; conexiones incluidas y excluidas [__].
Método y condiciones	Documento y edición [__]; procedimiento [__]; sentido [__]; configuración [__]; estado normal/contingencia [__].
Instrumentación	Equipo/serie/software [__]; módulos y accesorios [__]; calibración [__]; comprobaciones de campo [__].
Tiempo y entorno	Inicio/fin con zona horaria [__]; reloj y sincronización [__]; temperatura u otras condiciones pertinentes [__].
Criterio previo	Magnitud [__]; límite [__]; origen [__]; incertidumbre pertinente [__]; regla de decisión [__].
Datos y resultado	Archivo nativo [__]; reporte [__]; lecturas [__]; inválidos y causa [__]; decisión [__]; operador/revisor [__].

G.1 Inspección y pérdida de inserción

Tabla G.2. Inspección y pérdida de inserción

Campo	Dato que debe registrarse
Identidad y limpieza	Conector, pulido y puerto [__]; inspección inicial [__]; limpieza autorizada [__]; inspección final e imágenes [__].
OLTS: referencia	Método de referencia [__]; fecha/hora [__]; fuente/medidor [__]; latiguillos y adaptadores [__]; verificación [__].
OLTS: canal	Fibra y extremos finales [__]; longitud de onda [__]; sentido [__]; condiciones de lanzamiento [__]; polaridad [__].
Lecturas y cierre	Pérdida en dB [__]; presupuesto/límite [__]; margen [__]; decisión [__]; comprobación final de referencia [__].

La inspección y la pérdida responden preguntas distintas. La identidad y correspondencia de todas las fibras utilizadas deben comprobarse incluso cuando la potencia recibida sea suficiente. Si cambia la referencia o un accesorio, registrar la repetición afectada.

G.2 OTDR, dispersión cromática y PMD

El informe preserva archivos nativos y parámetros para permitir análisis posterior. Un resumen automático de eventos no reemplaza la revisión de la traza ni convierte una zona no observable en una zona conforme.

Tabla G.3. OTDR, dispersión cromática y PMD

Campo	Dato que debe registrarse
OTDR: preparación	Fibra/extremos [__]; verificación de ausencia de señal o método apto para servicio [__]; lanzamiento/recepción [__]; conectores [__].
OTDR: ajuste	Longitud de onda [__]; pulso [__]; rango [__]; adquisición [__]; índice de grupo [__]; umbrales [__].
OTDR: cobertura	Sentidos requeridos [__]; primer/último conector observables [__]; zonas muertas [__]; trazas complementarias [__].
OTDR: evento	ID y distancia [__]; tipo propuesto [__]; pérdida A→Z [__] y Z→A [__]; promedio cuando procede [__]; reflectancia [__].
OTDR: canal	Longitud [__]; pérdida [__]; ORL con alcance y método [__]; discrepancias frente a OLTS [__]; conclusión [__].
CD: método	Método/instrumento [__]; banda y longitudes de onda [__]; conexiones [__]; calibración [__]; ajuste y calidad del resultado [__].
CD: resultado	CD total en ps/nm [__]; coeficiente en ps/(nm·km), si procede [__]; pendiente [__]; incertidumbre [__]; límite del modo [__].
PMD: método	Método [__]; banda [__]; duración/repeticiones [__]; condiciones [__]; procesamiento y estadístico informado [__].
PMD: resultado	Valor de PMD y unidad [__]; DGD si se midió [__]; coeficiente y longitud usada [__]; incertidumbre [__]; criterio del sistema [__].

Para un evento con pérdida aparente negativa en un sentido, comprobar compatibilidad de fibras y revisar el sentido opuesto; no tratarlo como un amplificador. La distancia del OTDR depende del índice configurado y no equivale automáticamente a longitud de ruta civil. CD o PMD no se aceptan con un umbral inventado para toda velocidad y formato.

G.3 Transmisión óptica, OTN y tramo submarino

Tabla G.4. Transmisión óptica, OTN y tramo submarino

Campo	Dato que debe registrarse
Interfaz y modo	Equipos/puertos [__]; módulos/series [__]; software [__]; frecuencia/canal [__]; modulación/tasa/FEC [__].
Potencia y espectro	Puntos de lectura [__]; potencia Tx/Rx [__]; método [__]; espectro [__]; carga de canales y condiciones [__].
Calidad óptica	OSNR: método y ancho de referencia [__]; GSNR/Q u otro indicador: definición y fuente [__]; límites específicos [__].
Errores y estabilidad	BER pre/post FEC [__]; bits o intervalo válidos [__]; bloques corregidos/no corregibles [__]; alarmas [__]; reinicios [__].
OTN	Mapeo cliente–contenedor–línea [__]; identificadores [__]; alarmas origen/propagadas [__]; contadores y ventanas [__].
Estados alternativos	Carga de canales, potencia, protección y rutas probadas [__]; ajuste después de cambio [__]; margen observado [__].

G.3.1 Evidencia aportada por el operador submarino

Tabla G.5. G.3.1 Evidencia aportada por el operador submarino

Campo	Dato que debe registrarse
Sistema y contrato	Sistema/segmento/CLS [__]; terminales [__]; operador y alcance contratado [__]; responsable de integrar evidencia [__].
Pruebas especializadas	Pruebas de fábrica, instalación, puesta en servicio o reparación aplicables [__]; método aprobado para esa arquitectura [__].
Supervisión	Evidencia de terminales, línea y supervisión [__]; intervalos válidos [__]; carga y modos [__]; restricciones de acceso [__].
Relación con entrega	Referencia al servicio/backhaul [__]; límites de evidencia [__]; escenarios cubiertos [__]; pendientes y responsable [__].

En sistemas con repetidores no se sustituye el protocolo del operador por un OTDR convencional desde el data center. COTDR, supervisión y pruebas eléctricas dependen de arquitectura y procedimientos especializados. La ficha solicita evidencia pertinente; no autoriza acceso a planta húmeda ni intervención sobre PFE.

G.4 Ethernet, IP, TCP y función final

Tabla G.6. Ethernet, IP, TCP y función final

Campo	Dato que debe registrarse
Servicio Ethernet	UNI y generadores [__]; perfil CIR/EIR [__]; clases [__]; etiquetas [__]; tamaños/MTU y convención de tasa [__].
Activación	Método y edición [__]; configuración de cada servicio [__]; carga simultánea [__]; duración [__]; sentidos [__].
Ethernet: resultados	Tasa ofrecida/recibida [__]; pérdida [__]; retardo y variación definidos [__]; valores por servicio/clase/tamaño [__].
IP: métrica	Protocolo y extremos [__]; sentido [__]; tamaño/DSCP [__]; frecuencia [__]; one-way o RTT [__]; relojes y error [__].
IP: estadística	Muestras válidas [__]; perdidas [__]; ausentes [__]; definición de variación [__]; percentiles/ventana [__].
TCP/UDP y hosts	Herramienta/versión [__]; hosts y NIC [__]; CPU/afinidad [__]; MTU [__]; flujos [__]; ventanas [__]; retransmisiones [__].
Tasa útil	Capa y bytes contados [__]; duración [__]; tasa [__]; lectura/escritura o memoria [__]; cifrado [__]; almacenamiento y caché [__].
Aplicación	Transacción [__]; datos de entrada [__]; concurrencia y carga ofrecida [__]; resultado correcto [__]; persistencia [__].
IA/almacenamiento	Operación/colectiva [__]; tamaño [__]; nodos/GPU [__]; topología [__]; algbw/busbw definidos [__]; bloque/cola/mezcla [__].
Contingencia	Estado previo [__]; falla exacta [__]; instante [__]; pérdida/recuperación estable [__]; capacidad útil [__]; retorno [__].

El reporte distingue tasa de línea, tasa recibida y datos útiles. La mitad del RTT no prueba latencia en un sentido. Un promedio sin número de muestras ni pérdidas puede ocultar un servicio deteriorado. Las pruebas de carga se ejecutan en el entorno y ventana autorizados; un ensayo que interrumpe servicio necesita un procedimiento específico.

G.5 Cobre balanceado y cobertura de certificación

La ficha se adapta a enlace permanente, canal o MPTL según lo instalado. No se cambia el límite del instrumento únicamente para obtener un resultado conforme. Los componentes, adaptadores y conexiones incluidos deben coincidir con el tipo de enlace declarado.

Tabla G.7. Cobre balanceado y cobertura de certificación

Campo	Dato que debe registrarse
Identidad	Cable/enlace [__]; extremos panel/puerto [__]; categoría de componentes [__]; ruta y longitud de diseño [__].
Norma y modelo	Documento/edición y límite elegido [__]; enlace permanente/canal/MPTL [__]; conexiones incluidas [__].
Instrumento	Certificador, series y software [__]; adaptadores [__]; calibración y comprobación de campo [__].
Configuración	Tipo de cable [__]; velocidad nominal de propagación y fuente [__]; pantalla [__]; parámetros específicos del proyecto [__].
Correspondencia	Mapa de hilos [__]; continuidad de pantalla cuando aplica [__]; longitud por par [__]; retardos y diferencia entre pares [__].
Prestaciones	Pérdida de inserción [__]; NEXT/PSNEXT [__]; ACR pertinentes [__]; pérdida de retorno [__]; frecuencias y peor margen [__].
Otros requisitos	Resistencia de lazo y desequilibrio si se exigen [__]; requisitos de alimentación remota [__]; diafonía externa si aplica [__].
Decisión	Conformidad bajo el límite seleccionado [__]; resultados marginales [__]; diagnóstico/corrección [__]; repetición y archivo nativo [__].

El expediente conserva las gráficas y valores, no solamente una pantalla PASS. Un resultado marginal recibe la interpretación y regla previstas por el proyecto y el instrumento. El informe identifica accesorios y configuración para que otro técnico pueda determinar qué se evaluó. El ensayo eléctrico del enlace no sustituye la verificación del dispositivo alimentado, la red lógica o la aplicación.

G.6 Campus Faro: fichas de resultados cumplimentadas

Tabla G.8. Campus Faro: fichas de resultados cumplimentadas

Ficha	Configuración y población	Resultado	Decisión
G-OLTS	864 fibras, 2 bandas, 2 sentidos; L 2,20 dB; U 0,12 dB	Inicial 3448 conformes, 4 indeterminados y 4 no conformes; final 3456 conformes	Cierra alcance óptico simulado
G-OTDR	Banco 1,70 km; bobinas de 150 m; 5 ns y 100 ns	Eventos próximos separados 4 m	Comparar resolución; no declarar zona muerta por ancho de pulso

Ficha	Configuración y población	Resultado	Decisión
G-CD	BT-A01, 80 km, 1550 nm	17 ps/(nm·km); 1360 ps/nm	Comparar con modo de transmisión seleccionado
G-PMD	Cinco repeticiones de método; tramo 80 km	Media 0,888 ps; s = 0,0239 ps; U = 0,06 ps	No confundir con toda la distribución temporal de DGD
G-ETH	C1/C2/C3 simultáneas, 900 s, ambos sentidos	FD máximo final 40,1/41,4/43,2 ms; FLR 0 observado	Cumple estos límites y población del ejercicio
G-IP	A bajo carga: 9000 secuencias en 900 s	RTT p99 74,964 ms; 4 respuestas ausentes	Retardo cumple; pérdida incumple 0,0001
G-IA	128 ranks; 10^9 B por rank; AllReduce	150 ms antes y 60 ms después	Ensayo corregido cumple 65 ms; plataforma completa requiere más pruebas

El archivo nativo del instrumento, número de serie, calibración y condiciones de campo no existen para estos datos simulados. Los formularios reales deben incorporar esos campos. La captura PCAP sintética representa estructura de paquetes; sus 120 tramas no demuestran rendimiento de un servicio.

Anexo H Interpretación de pruebas

Matriz H-01. Estas relaciones orientan el diagnóstico; no son veredictos automáticos ni límites de certificación. Antes de atribuir una causa se comprueba el alcance del ensayo, la validez del dato y una evidencia independiente.

Tabla H.1. Anexo H Interpretación de pruebas

Observación	Hipótesis a contrastar	Siguiente comprobación
Pérdida elevada en OLTS	Referencia, suciedad, curvatura, empalme o alcance distinto.	Verificar referencia y conectores; correlacionar traza y plano.
Evento OTDR con ganancia aparente	Diferencia de retrodispersión entre fibras.	Revisar ambos sentidos y método de promedio.
Evento cercano no resuelto	Zona muerta, pulso o conexión de lanzamiento.	Ajustar adquisición y accesorios; declarar cobertura real.
ORL baja o reflectancia elevada	Conexión reflectiva o condición de terminación.	Localizar evento y revisar conectores, método y alcance.
Potencia adecuada, errores pre FEC altos	Ruido, modo, filtrado, dispersión u otra penalización.	Relacionar espectro, OSNR/GSNR, modo y contadores válidos.
Errores solo tras protección	Ruta alternativa, modo o potencia diferentes.	Comparar estados, perfiles y margen de cada recorrido.
Ethernet cumple; TCP es bajo	Ventanas, RTT, hosts, pérdida o almacenamiento.	Conservar telemetría y comparar BDP, CPU, NIC y datos útiles.
Promedio de red normal; pausas de aplicación	Ráfagas, cola, dependencia externa o caché.	Correlacionar tiempos de transacción, colas y trazas.
Colectiva rápida; trabajo IA lento	Entrada de datos, checkpoint, topología o fases no medidas.	Medir trabajo completo y concurrencia de almacenamiento.
Contadores en cero durante una falla	Intervalo inválido, reinicio o pérdida de telemetría.	Verificar continuidad del colector y significado de cero.

Registrar por separado: observación [__]; calidad del dato [__]; hipótesis [__]; prueba discriminante [__]; resultado [__]; causa confirmada o no resuelta [__]; decisión y responsable [__]. Una correlación temporal sirve para investigar; la causalidad necesita una explicación y verificación acordes al caso.

Ejemplo marginal: límite máximo 3,0 dB, lectura 2,8 dB e incertidumbre expandida 0,3 dB. Bajo una regla hipotética de aceptación que exige lectura más incertidumbre no mayor que el límite, el resultado no permite aceptar, pues 3,1 dB supera 3,0 dB. Otra regla acordada puede llevar a otra decisión; el informe conserva cuál se utilizó y evita declarar que el valor real necesariamente incumple.

H.2 Solucionario razonado de las preguntas de aplicación

Son orientaciones para preguntas abiertas, no respuestas únicas de un examen. Se mantiene la numeración de cada capítulo. Al adaptar un ejercicio se deben justificar alcance, supuestos y evidencia; un dato no disponible permanece pendiente.

H.3 Orientaciones del capítulo 1

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 1

1. Clasificar por función, modelo de operación, escala y proximidad al usuario. Un campus de colocation también puede alojar nube y cargas de IA.

2. Trazar cada flujo hasta su destino efectivo; una aplicación local puede depender de identidad o datos ubicados en otro país.

3. Solicitar rutas construidas, demarcaciones, recursos reservados y pruebas. La cercanía de una red o el número de carriers no demuestra diversidad.

4. Asignar un responsable por tramo e interfaz, incluidos terceros y extensiones internas; nombrar un integrador del recorrido completo.

5. Faltan factibilidad vigente, permisos, contratación, instalación, configuración y aceptación hasta el punto utilizado por el cliente.

H.4 Orientaciones del capítulo 2

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 2

1. Describir una operación observable, su carga y su ventana: por ejemplo, completar y verificar una transferencia antes del plazo acordado.

2. Documentar origen, destino, dirección, familia IP y demarcación física y lógica; incluir dependencias auxiliares.

3. Convertir volumen y ventana en tasa útil y añadir sobrecargas. En Faro, 32 Gb/s ocupan el 80 % del CIR sobreviviente de 40 Gb/s.

4. Precisar población, intervalo, tamaño de paquete, carga, percentil, reloj y regla de decisión; evitar límites sin método.

5. Medir hitos separados: retorno del tráfico, operación válida y datos recuperados. El primero no determina los otros dos.

6. Usar una matriz con requisito, responsable, método, evidencia y aceptante. Mantener abierto lo que carece de información suficiente.

H.5 Orientaciones del capítulo 3

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 3

1. Separar propietario de infraestructura, carrier, proveedor IP, operador del edificio y cliente; una empresa puede cumplir varias funciones.

2. Revisar reglas de acceso, tarifas, demarcaciones y plazos de incorporación. La presencia comercial no garantiza libertad operativa.

3. Transporte une puntos; tránsito proporciona alcance IP; peering intercambia rutas acordadas; CDN acerca contenido; acceso a nube llega a una plataforma concreta.

4. Identificar dónde está el puerto real y qué transporte lo alcanza. Dos servicios virtuales pueden compartir el mismo acceso físico.

5. Confirmar capacidad, permisos, puerto, tendido, configuración y prueba del servicio solicitado, además de la presencia del operador.

6. Contrastar el catálogo con inventario y tiempos de terceros; registrar condiciones y vigencia de cada factibilidad.

H.6 Orientaciones del capítulo 4

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 4

1. Nombrar un integrador con autoridad sobre interfaces, calendario y aceptación; documentar cómo resuelve discrepancias entre participantes.

2. Definir ejecución, revisión y aprobación por actividad; conservar trazabilidad de las decisiones y controles proporcionados al riesgo.

3. Incluir a operación antes del cierre del diseño y comprobar acceso a planos, repuestos, procedimientos y evidencias.

4. Asignar una contraparte por contrato y una matriz de pruebas que cubra cada demarcación, sin tramos huérfanos.

5. Evaluar SRLG, capacidad y permisos antes de aprobar el cambio; actualizar el diseño y el plan de contingencia.

6. Conciliar identificadores físicos, revisiones de configuración y archivos de prueba. Una discrepancia mantiene pendiente el alcance afectado.

H.7 Orientaciones del capítulo 5

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 5

1. La oferta debe precisar función, extremos, capacidad útil o comprometida, fecha y condiciones de aceptación.

2. Vincular cada promesa con una factibilidad vigente y recursos completos; señalar reservas, obras y dependencias aún pendientes.

3. Comparar demarcaciones, capacidad sobreviviente, instalación, operación y salida contractual durante el mismo horizonte.

4. Una medida describe una observación; un objetivo orienta el diseño; un compromiso define obligaciones y consecuencias acordadas.

5. Mostrar pendientes y ausencia de datos expresamente. Un pedido sin prueba no debe aparecer como entrega aceptada.

6. Relacionar la desviación con impacto, decisión, dueño y próxima revisión; verificar después que la acción produjo el resultado.

H.8 Orientaciones del capítulo 6

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 6

1. El tendido aporta un medio físico; el servicio exige terminales, energía, configuración, derechos de uso y pruebas de entrega.

2. La capacidad depende también de espectro, fibras utilizables, terminales, modos y márgenes; una actualización puede cambiarla sin sustituir todo el cable.

3. La amplificación extendió alcances; WDM multiplicó canales; la transmisión coherente mejoró el uso del espectro dentro de límites físicos y operativos.

4. Más pares amplían recursos dentro del mismo corredor; otra ruta debe evitar los eventos compartidos que se pretende tolerar.

5. Verificar propietario, consorcio, derechos y cadena comercial. El vendedor debe poder entregar el acceso y sus extensiones.

6. Exigir evidencia hasta los extremos remotos: ductos, puentes, CLS, backhaul y energía. El caso Faro mantiene riesgos comunes pendientes.

H.9 Orientaciones del capítulo 7

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 7

1. Inventariar cable, repetidores, ramificaciones, alimentación, terminales y gestión utilizados; asignar responsabilidades por interfaz.

2. Las fibras son medios físicos; los canales ocupan espectro; la capacidad contratada es una prestación que puede usar solo parte de esos recursos.

3. Contrastar la topología real y la asignación de pares o espectro con los destinos; una ramificación no ofrece automáticamente conectividad entre todos ellos.

4. Documentar PFE, trayecto eléctrico, retorno y escenarios permitidos. La contingencia debe respetar límites y procedimientos del operador.

5. Un sistema sin repetidores eléctricamente alimentados puede incorporar amplificación óptica remota; verificar arquitectura y bombeo efectivo.

6. Correlacionar potencia, alarmas de línea, alimentación y gestión. Perder supervisión no demuestra por sí mismo que se haya perdido transmisión.

H.10 Orientaciones del capítulo 8

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 8

1. Representar por separado llegada a costa, cámara BMH, cable de fronthaul y estación CLS, con sus uniones e identificadores.

2. Solicitar planos ejecutados, registros de empalme y cambios; un trazado proyectado no acredita la obra final.

3. Localizar el terminal submarino y declarar si el tramo siguiente es continuidad óptica, transporte regenerado o servicio Ethernet/IP.

4. Documentar la alimentación del sistema sumergido y sus dependencias; no confundirla con la alimentación de los equipos terrestres.

5. Asignar entrega, prueba y operación a cada límite, incluyendo las interfaces entre propietario del cable y proveedor terrestre.

6. Combinar evidencias autorizadas del operador con pruebas del servicio hasta el cliente; ensayar las contingencias pactadas.

H.11 Orientaciones del capítulo 9

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 9

1. Fijar terminales, fibra, bandas y regeneraciones. Una cifra sin recorrido no permite evaluar alcance ni margen.

2. Separar baudios, tasa bruta, carga útil de transporte y CIR; conservar unidades y sentido para comparar.

3. Registrar modo exacto, FEC, umbral y definición del indicador del fabricante. No trasladar límites entre modos diferentes.

4. Conservar configuración, carga espectral, sentido, ventana y estado de protección; esos datos delimitan la validez del resultado.

5. BER posterior describe errores residuales observados; BER previo ayuda a valorar esfuerzo de corrección y proximidad a degradación.

6. Desglosar asignaciones y evitar descontar la misma reserva dos veces. Relacionar cada margen con el horizonte y escenario.

7. Aceptar la capacidad que cumple calidad y servicio en la configuración ensayada; separar ampliaciones previstas de capacidad entregada.

H.12 Orientaciones del capítulo 10

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 10

1. Definir qué interfaces son abiertas y conservar la matriz de compatibilidad entre planta, terminales y gestión realmente probada.

2. Comparar capacidad usando idéntico recorrido, capa, unidad y dirección; evitar sumar línea bruta y capacidad cliente.

3. Comprobar banda utilizable, espaciado, filtros, potencia y carga futura; una licencia no crea espectro físico disponible.

4. Identificar puertos y canales instalados y aceptados. Marcar como futura toda capacidad que requiere equipos, licencias u obras.

5. Evaluar energía, alimentación y restricciones térmicas en carga normal y degradada, con las reservas necesarias para cada escenario.

6. Sumar las demandas que migran simultáneamente y verificar que no compartan el recurso que falla. En Faro sobreviven 40 Gb/s para 32 Gb/s.

7. Seguir la prestación por CLS, backhaul, demarcación y extensión interna hasta el puerto del cliente.

H.13 Orientaciones del capítulo 11

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 11

1. Declarar extremos y arquitectura observada. El OTDR desde tierra no caracteriza automáticamente todo un sistema submarino repetido.

2. Consultar las interfaces y métodos autorizados por el operador; adaptar rango, acceso y seguridad a la arquitectura real.

3. Conservar esos parámetros junto al archivo original y el estado de protección; sin ellos no puede repetirse ni compararse el ensayo.

4. Relacionar telemetría con comportamiento operacional, caracterización con planta y pruebas activas con el servicio efectivamente transportado.

5. Verificar función y capacidad en la interfaz del cliente durante la falla; una alarma local solo observa una parte del recorrido.

6. Relacionar archivos, versiones y recursos por identificadores estables, con integridad y registro del estado aceptado.

H.14 Orientaciones del capítulo 12

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 12

1. Precisar área, recursos de reparación, prioridades, repuestos, activación y responsabilidades; distinguirlo del compromiso comercial del servicio.

2. Informar servicio normal, degradado, recuperado y sin reserva mientras se repara; reparar planta no equivale a restaurar toda resiliencia.

3. Usar trazado ejecutado, longitud óptica y reparaciones anteriores; incluir la incertidumbre de localización y las limitaciones del método.

4. Registrar cable añadido, empalmes, cambios de potencia y piezas utilizadas; recalcular el margen y reponer existencias.

5. Repetir las pruebas afectadas desde planta y terminales hasta la prestación del cliente; conservar comparación anterior y posterior.

6. Comprobar capacidad alternativa, márgenes, repuestos y procedimientos antes de declarar recuperada la preparación para otra contingencia.

H.15 Orientaciones del capítulo 13

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 13

1. Describir qué magnitud se observa y a qué resolución espacial; un sensor puntual y una medida distribuida producen evidencias diferentes.

2. Limitar la afirmación a la arquitectura, banda, longitud y condiciones efectivamente evaluadas; no generalizar un experimento a todos los sistemas.

3. Documentar referencia temporal, método de posición, resolución y presupuesto de incertidumbre, además de validaciones independientes disponibles.

4. Registrar cambios de potencia, conmutaciones, reparaciones y carga; pueden alterar señales y explicar diferencias entre campañas.

5. Obtener aceptación operacional para acceso, potencia y coexistencia; verificar que la actividad no comprometa el servicio acordado.

6. Separar hipótesis, demostración experimental y servicio mantenible con criterios de aceptación, alarmas y responsables.

H.16 Orientaciones del capítulo 14

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 14

1. Fijar el extremo contractual y enumerar todas las extensiones necesarias para llegar al rack; no deducirlas del nombre de la oferta.

2. Identificar proveedores y recursos reales, incluidos mayoristas, regeneraciones y puntos intermedios de concentración.

3. Registrar cada conversión óptica-eléctrica o cambio de servicio; determina qué pruebas pueden observar el conjunto.

4. Buscar el menor recurso útil entre tramos, equipos, políticas y capacidad comprometida, considerando el sentido del tráfico.

5. Evaluar todos los servicios trasladados en la contingencia, con sus clases y prioridades; evitar contabilizar una reserva varias veces.

6. Extender la aceptación al puerto y perfil recibidos por el cliente; los ensayos intermedios son evidencias complementarias.

H.17 Orientaciones del capítulo 15

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 15

1. Definir alcance, puntos y tecnología; las etiquetas metro y larga distancia no fijan por sí solas longitud ni prestaciones.

2. Relacionar servicio, puertos, canales, fibras y ruta mediante inventario, incluyendo dependencias de terceros conocidas y pendientes.

3. Separar conectividad punto a punto, alcance IP y acuerdos con otros proveedores; verificar destinos realmente utilizables.

4. Identificar si recupera óptica, OTN, Ethernet, IP o aplicación, con tiempos, capacidad y condiciones de activación.

5. Dimensionar por demanda simultánea y escenarios comunes; una protección compartida puede resultar insuficiente bajo fallas múltiples.

6. Repetir pruebas del servicio en estado normal, degradado y recuperado, conservando cronología y capacidad residual.

H.18 Orientaciones del capítulo 16

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 16

1. Definir el evento: corte de ducto, pérdida de puente, edificio o energía. La diversidad siempre se evalúa frente a amenazas concretas.

2. Pedir trazabilidad del transporte mayorista y recursos comunes; dos marcas comerciales pueden usar la misma infraestructura.

3. Revisar puentes, cámaras, pasos, entradas, ODF y terminales; los extremos suelen concentrar rutas aparentemente separadas.

4. Contrastar planos ejecutados con registros de campo y cambios. Una línea separada en un mapa no prueba separación física.

5. En Faro, 32 Gb/s caben en 40 Gb/s sobrevivientes; verificar además clases, overhead y capacidad de los recursos internos.

6. Asignar revisión posterior a cambios, actualización de SRLG y aceptación del integrador antes de renovar la declaración de diversidad.

H.19 Orientaciones del capítulo 17

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 17

1. Comprobar permisos y derechos de acceso, construcción, mantenimiento y reparación en todos los predios y cruces.

2. Identificar propietario y administrador de cada tramo y las autorizaciones necesarias para intervenirlo, incluidas restricciones horarias.

3. Separar hitos de factibilidad, permiso, obra, prueba y recepción; un permiso concedido no acredita instalación terminada.

4. Reevaluar riesgos y autorizaciones cuando cambia el trazado; no conservar automáticamente la aprobación de una ruta anterior.

5. Relacionar resultados con cable, fibras, extremos y revisión ejecutada; repetir el alcance que una modificación pueda haber alterado.

6. Entregar planos, empalmes, accesos, contactos y evidencias localizables; comprobar su uso con un ejercicio de operación.

H.20 Orientaciones del capítulo 18

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 18

1. Relacionar ubicación con usuarios, destinos, latencia, acceso a energía y posibilidades de crecimiento de las cargas previstas.

2. Definir condiciones excluyentes antes de ponderar alternativas: derechos, energía mínima, riesgos intolerables o plazos obligatorios.

3. Exigir una oferta con extremos, capacidad, recursos, vigencia y plan de entrega; una ruta cercana sigue siendo solo una posibilidad.

4. Coordinar fases de energía, construcción y conectividad; comprobar fechas y dependencias de cada fase antes de comprometer clientes.

5. Hacer sensibilidad de pesos, demanda y retrasos. Una clasificación que cambia con pequeñas variaciones requiere revisar supuestos.

6. Transferir condiciones, riesgos y pendientes al diseño como requisitos verificables, con responsables y puntos de control.

H.21 Orientaciones del capítulo 19

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 19

1. Asignar funciones, edificios atendidos, accesos y límites por espacio; distinguir interconexión de operadores y distribución hacia clientes.

2. Entrada recibe la planta exterior; MMR permite interconectar; distribución principal organiza la entrega interna. Pueden coexistir sin perder demarcaciones.

3. Seguir A y B por entradas, salas, ODF y racks. Registrar todo recurso común hasta el extremo requerido.

4. Nombrar administradores y criterios de entrega por segmento, especialmente en interfaces entre carrier, edificio y cliente.

5. En Faro, un enlace dúplex utiliza dos fibras; dos enlaces por rack y dominio consumen cuatro posiciones ópticas de fibra.

6. Reservar capacidad por dominio y zona, incluyendo espacio de trabajo y radios de curvatura; comprobar acceso con ocupación futura.

H.22 Orientaciones del capítulo 20

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 20

1. Consultar servicios activos, puertos, capacidad y plazos de cada operador; distinguir presencia, equipo instalado y prestación aceptada.

2. Justificar MMR-A y MMR-B por escenarios y separación efectiva; duplicar salas no elimina los recursos comunes externos.

3. Revisar elevación, acceso, ventilación, guiado y extracción de latiguillos sin afectar vecinos; dimensionar para la fase futura prevista.

4. Declarar denominador: 48 fibras libres de 144 instaladas son 33,33 %, mientras 48 sobre 96 de demanda son 50 %.

5. Mantener estados separados para recurso físico, reserva, instalación, configuración y servicio aceptado; una conexión puede existir sin tráfico.

6. Entregar mapa de puertos, reservas, pruebas y procedimiento de solicitud; comprobar que un tercero puede preparar otra conexión correctamente.

H.23 Orientaciones del capítulo 21

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 21

1. Identificar las prestaciones que cruzan MMR y sus extremos; evitar interconectar dominios automáticamente sin una necesidad definida.

2. Indicar dónde se origina cada servicio y qué sala, equipo o entrada sigue siendo una dependencia, incluso tras extenderlo.

3. Calcular reserva por tramo y dominio; las fibras libres de otro edificio no resuelven falta de posiciones en el segmento requerido.

4. Analizar qué servicios pierden distribución y si el camino alternativo evita ese recurso y admite la demanda trasladada.

5. Incluir extensiones, conexiones y puertos finales utilizados; una prueba entre distribuidores deja sin cubrir los extremos añadidos.

H.24 Orientaciones del capítulo 22

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 22

1. Cada nivel debe aportar alcance, administración o flexibilidad justificables; añadir conexiones consume presupuesto y aumenta puntos de intervención.

2. Dimensionar por sala, edificio y dominio. Una reserva total suficiente puede ocultar una zona sin capacidad utilizable.

3. Comprobar rutas, distribuidores, energía y equipos finales; representar las convergencias y su efecto sobre la función del cliente.

4. Verificar mantenimiento, limpieza y ampliación con racks y bandejas ocupados, respetando accesos y curvaturas.

5. Declarar enlace permanente o canal y extremos exactos, incluidos casetes y latiguillos cuando formen parte de la entrega.

H.25 Orientaciones del capítulo 23

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 23

1. Precisar rack, unidad, panel, puerto, pulido, servicio lógico y responsable; separar conector de demarcación contractual.

2. Revisar extracción, acceso a ambos extremos, guías y radios con la ocupación prevista; probar una intervención representativa.

3. Seguir A y B hasta equipos, fuentes y cargas; dos fibras terminadas en un único equipo pueden conservar una falla común.

4. Conciliar posiciones de panel con fibras disponibles, terminadas y aceptadas en la troncal correspondiente.

5. Registrar por separado aceptación del canal físico y activación del perfil del servicio; ambas evidencias tienen alcances diferentes.

H.26 Orientaciones del capítulo 24

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 24

1. Seleccionar por aplicación, alcance, entorno, densidad, presupuesto y ciclo de vida; no elegir únicamente por velocidad nominal.

2. Sumar troncal, latiguillos y componentes del canal; comprobar que la definición coincide con la interfaz y el método de certificación.

3. Consultar soporte del host, módulo y versión; verificar alcance, potencia, FEC, medio y mapa del canal.

4. Definir enlace permanente, canal o componente y perfil aplicable antes de probar; usar accesorios compatibles con ese alcance.

5. Reevaluar compatibilidad, pérdidas, polaridad, soporte y mantenimiento; repetir pruebas afectadas y actualizar el inventario.

H.27 Orientaciones del capítulo 25

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 25

1. Representar adaptadores, troncales, casetes, latiguillos y transceptores; componer sus transformaciones hasta obtener la correspondencia completa.

2. Separar posiciones físicas del conector y fibras que utiliza la aplicación; un conector de 12 posiciones no implica 12 canales útiles.

3. Verificar pines, orientación, keying y pulido de cada unión. Evitar acoplamientos incompatibles o inferencias basadas solo en color.

4. Comprobar cantidad, mapa, pérdida y compatibilidad futura; una fibra libre puede no ocupar una posición utilizable por la aplicación.

5. Conservar correspondencia y resultados de todas las posiciones, con revisiones de los componentes y configuración final del canal.

H.28 Orientaciones del capítulo 26

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 26

1. Identificar propietario y autorizante de ambos extremos antes de reservar; comprobar acceso y condiciones de intervención.

2. Reservar recursos de manera indivisible y con vigencia; rechazar una segunda asignación mientras la primera siga activa.

3. Definir continuidad, identidad, inspección, pérdida y alcance del servicio según contrato; conservar resultados por extremo y configuración.

4. Usar estados distintos: reservada, instalada, probada, activada y aceptada; vincular cada transición a su evidencia.

5. Consultar relaciones recurso-servicio-cliente, autorizar retiro y verificar impacto antes de liberar puertos o fibras.

H.29 Orientaciones del capítulo 27

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 27

1. Modelar cable, fibra, puerto y equipo como recursos; relacionarlos con servicios sin sustituir una entidad por la otra.

2. Mantener dependencias en ambos sentidos y probar consultas de impacto desde un cable hasta todos los servicios que lo utilizan.

3. Reservar todos los recursos necesarios con vencimiento y responsable; controlar disponibilidad y liberación mediante una operación coherente.

4. Conservar estados y versiones separados para diseño, instalación y aceptación; evitar presentar una ampliación prevista como disponible.

5. Registrar qué cambió, cuándo, quién lo ejecutó y qué evidencias representan el estado posterior.

H.30 Orientaciones del capítulo 28

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 28

1. Dimensionar posiciones, fibras y equipos para coexistencia temporal y retorno; la reserva final puede ser insuficiente durante la migración.

2. Verificar todo el canal: medio, longitud, conexiones, polaridad, módulos, FEC y soporte de los hosts.

3. Probar identidad, compatibilidad y prestaciones del destino antes de mover tráfico; conservar una línea base comparable.

4. Definir disparadores, recursos, pasos y plazo del retorno; confirmar su disponibilidad antes de ejecutar cada fase.

5. Conciliar ocupación final y retirar temporales solo después de aceptar el destino; actualizar reserva por dominio y zona.

H.31 Orientaciones del capítulo 29

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 29

1. Documentar capacidad cliente y línea bruta con sus sobrecargas y FEC; comparar cifras de la misma capa y sentido.

2. Validar host, firmware, módulo, potencia, modo y FEC en ambos extremos; la compatibilidad mecánica no demuestra funcionamiento.

3. Medir errores, margen y comportamiento con carga, además de potencia; una potencia correcta puede coexistir con mala calidad.

4. Evaluar el recorrido alternativo con su propia longitud, pérdidas, dispersión y carga; no heredar el margen del camino principal.

5. Conservar modos y versiones aceptados, equivalencias verificadas y repuestos probados; repetir el alcance afectado tras cambios.

H.32 Orientaciones del capítulo 30

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 30

1. Marcar punto físico y límite lógico del servicio por separado; asignar responsabilidades sobre el tramo entre ellos si difieren.

2. Comprobar funciones habilitadas: demarcación, bucles, OAM, medidas y perfil; no asumir prestaciones por la denominación NID.

3. Conciliar VLAN, MTU, CIR, clases y sentido en los dos extremos antes de evaluar la entrega.

4. Revisar chasis, tarjetas, fuentes, alimentación y gestión compartidos; dos circuitos no garantizan dos dominios de falla.

5. Usar puntos de prueba y bucles con alcance declarado para localizar el problema, conservando ventana y contadores comparables.

H.33 Orientaciones del capítulo 31

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 31

1. Usar una matriz de tráfico simultáneo entre origen y destino, con ráfagas y escenarios degradados representativos.

2. Conservar capa, dirección y unidad; no comparar una suma bidireccional de puertos con demanda unidireccional.

3. Un flujo puede quedar limitado a un miembro por hashing; probar distribución y desempeño individual además de la agregación.

4. Recalcular capacidad de corte y sobresuscripción tras la falla, incluyendo redistribución y congestión en los caminos restantes.

5. Observar colas, descartes, marcado y progreso de aplicaciones con resolución adecuada a las ráfagas que se investigan.

H.34 Orientaciones del capítulo 32

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 32

1. Incluir CPU, NUMA, memoria, PCIe, NIC, sistema y software, además del enlace; medir dónde se forma el cuello de botella.

2. Verificar generación, ancho PCIe efectivo, afinidad y reparto interno; el número nominal de NIC puede superar la capacidad del nodo.

3. Separar transporte de red, protocolo de almacenamiento, persistencia e integridad; el goodput de una copia no prueba todos esos niveles.

4. Interrumpir el componente previsto y validar la operación de aplicación, incluyendo reconexión, integridad y capacidad residual.

5. Declarar tamaño, concurrencia, caché, mezcla y persistencia. Comparar ensayos que permitan separar efecto de red y medio de almacenamiento.

H.35 Orientaciones del capítulo 33

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 33

1. Separar redes de acceso, cómputo, almacenamiento y administración, con matrices de tráfico y necesidades de cada una.

2. Relacionar GPU, enlaces locales, PCIe y NIC con la topología entre nodos; verificar los cortes que atraviesa cada operación.

3. Validar ECN, PFC o control equivalente para la plataforma y observar su reacción; habilitar funciones no prueba su eficacia.

4. Diseñar acceso de gestión, telemetría, repuestos y recuperación independientes de las fallas que deberá resolver operación.

5. Ensayar tamaños, ranks, colocación y operaciones de la carga objetivo, además de fallas y acceso concurrente a datos.

H.36 Orientaciones del capítulo 34

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 34

1. En Faro, puerto de 100 Gb/s y CIR de 40 Gb/s son magnitudes distintas; configurar y evaluar el perfil contratado.

2. Documentar VLAN, etiquetas y cambios en cada interfaz, incluyendo tratamiento de prioridad y sobrecarga en la tasa.

3. Comprobar rutas, MTU, seguridad y aplicación en IPv4 e IPv6; el éxito de una familia no acredita la otra.

4. Calcular el paquete encapsulado completo y verificar PMTU; declarar dónde se cuenta la MTU y qué cabeceras se añaden.

5. Medir capacidad restante y comportamiento de flujos tras perder un miembro; considerar hashing y límites por miembro.

H.37 Orientaciones del capítulo 35

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 35

1. Relacionar VTEP, túnel y servicio con puertos, equipos, energía y rutas reales; el overlay no elimina dependencias físicas.

2. Validar operación, nombre, sesión y datos además de alcance IP; una respuesta ICMP no demuestra el servicio completo.

3. Documentar VRF, políticas de importación y exportación y filtrado; probar aislamiento con casos positivos y negativos.

4. Registrar encapsulación, MTU y rutas de retorno; revisar asimetrías que alteren seguridad, medición o diagnóstico.

5. Probar fallas de control y de datos por separado, junto con aislamiento entre clientes y recuperación de la función.

H.38 Orientaciones del capítulo 36

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 36

1. Precisar destinos y políticas de tránsito, peering o transporte; conectarse a un IXP no da automáticamente alcance universal.

2. Comprobar sesiones, rutas y tráfico real con los participantes necesarios; la conexión física al intercambio es solo un requisito previo.

3. Mantener autorizaciones y validación de origen coordinadas con cambios de anuncios, prefijos y proveedores; comprobar resultados operacionales.

4. Validar rutas físicas y SRLG con documentación independiente; AS-path diferentes pueden atravesar el mismo cable o puente.

5. Probar destinos representativos, políticas y carga en el proveedor sobreviviente, incluyendo retorno y capacidad comprometida.

H.39 Orientaciones del capítulo 37

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 37

1. Precisar si compra fibra, transporte, Ethernet, IP o conexión virtual y qué equipos, rutas y controles debe operar.

2. Localizar el puerto físico de acceso y el transporte desde el campus; un nombre regional no demuestra presencia dentro del edificio.

3. Relacionar conexiones virtuales con puertos, equipos, energía y rutas; duplicarlas puede mantener una única dependencia física.

4. Delimitar extremos criptográficos, claves y segmentos expuestos; validar que el cifrado cubra el requisito y sus contingencias.

5. Ejecutar aplicación y carga en la alternativa, comprobando capacidad, direccionamiento, políticas, límites y dependencias auxiliares.

H.40 Orientaciones del capítulo 38

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 38

1. Usar nombre, resolutor, ámbito y política reales; una prueba por dirección IP puede omitir el componente que falla al usuario.

2. Registrar fuente, sincronización y calidad del reloj; incluir su incertidumbre en mediciones unidireccionales y correlación.

3. Validar contenido y operación representativa; una comprobación superficial de puerto abierto puede omitir errores funcionales.

4. Ubicar terminaciones TLS, proxies y balanceadores; cada tramo protegido tiene extremos y responsabilidades propios.

5. Separar DNS, establecimiento de conexión, TLS, autenticación y backend; sumar solo etapas explícitamente secuenciales.

H.41 Orientaciones del capítulo 39

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 39

1. Declarar mensurando, unidad, referencia y planos extremos; una pérdida de canal no equivale a pérdida de un único conector.

2. Resolución es el incremento mostrado; capacidad metrológica incluye calibración, método, accesorios, repetibilidad e incertidumbre.

3. Comprobar función, banda, rango, vigencia y trazabilidad cubiertos; un certificado del instrumento no cubre automáticamente todo el montaje.

4. Acordarla antes del ensayo. En Faro se acepta si M + U ≤ 2,20 dB y se mantiene indeterminado el intervalo que cruza el límite.

5. Conservar esquema, instrumentos, accesorios, ajustes, identificación y matriz de cobertura, además de los originales y controles de referencia.

H.42 Orientaciones del capítulo 40

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 40

1. Inspeccionar puertos y accesorios que tocarán la medida; un latiguillo contaminado puede alterar resultados o transferir suciedad.

2. Usar adaptador y sonda compatibles con férula, pulido y posiciones. Las imágenes esquemáticas del atlas no sustituyen el criterio normativo.

3. Reinspeccionar tras limpiar y antes de conectar; repetir si la superficie sigue fuera del criterio aplicable.

4. Componer el mapa de todos los componentes hasta el transceptor y comprobar correspondencia por posición en ambos extremos.

5. Continuidad demuestra paso o correspondencia; la aceptación óptica requiere las otras medidas y criterios definidos para el canal.

H.43 Orientaciones del capítulo 41

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 41

1. Documentar método de referencia y conexiones incluidas o excluidas; no cambiar accesorios sin evaluar el efecto y repetir referencia cuando proceda.

2. En multimodo, controlar lanzamiento y accesorios conforme al método aplicable; una fuente no acondicionada puede sesgar la pérdida observada.

3. Identificar origen de atenuaciones y pérdidas por componente y banda. El ejemplo 1,865 dB es un presupuesto de proyecto, no un límite universal.

4. Contrastar instalación y aplicación por separado, con su longitud, pérdidas, potencia, mapa y compatibilidad; cumplir una no garantiza la otra.

5. En Faro se reservan 0,30 dB del presupuesto de 2,50 dB; la entrega usa límite 2,20 dB y U de 0,12 dB.

H.44 Orientaciones del capítulo 42

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 42

1. Incluir bobinas de lanzamiento y recepción adecuadas al instrumento y pulso para evaluar las conexiones inicial y final.

2. Usar pulso corto para separar eventos próximos y otro ajuste cuando haga falta alcance; conservar adquisiciones complementarias, sin ocultar limitaciones.

3. Registrar índice de grupo por banda y fuente; un índice erróneo altera posiciones y longitud aunque la pantalla muestre muchos decimales.

4. Marcar eventos no resueltos y su tramo combinado; la escala espacial del pulso no equivale a la zona muerta del instrumento.

5. Guardar adquisición nativa y parámetros, junto con interpretación y exportaciones; la imagen aislada no conserva toda la evidencia.

H.45 Orientaciones del capítulo 43

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 43

1. Emparejar fibra, extremos, banda y configuración; invertir la coordenada de la segunda adquisición antes de asociar eventos.

2. Verificar resolución, separación y correspondencia. No promediar automáticamente eventos fusionados o parejas dudosas.

3. Conservar signos: (−0,15 + 0,35)/2 = 0,10 dB. Un gainer aparente no es una ganancia física pasiva.

4. Declarar método, longitud, extremo y terminación. La ORL integrada no se obtiene promediando en dB reflectancias de eventos.

5. Revisar saturación, ecos, zonas muertas y retrodispersión antes de atribuir una anomalía a una unión y decidir intervenirla.

H.46 Orientaciones del capítulo 44

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 44

1. El coeficiente se expresa en ps/(nm·km); la dispersión acumulada en ps/nm. En 80 km uniformes, 17 produce 1360 ps/nm.

2. Caracterizar la banda de uso y conservar curva, pendientes y longitud; un único valor fuera de banda es insuficiente.

3. Verificar alcance y método para fibras, componentes y conversiones presentes; una regeneración puede separar dominios ópticos.

4. Usar tolerancia del modo y equipo reales, con su FEC y especificaciones; evitar aplicar un umbral genérico de otra tecnología.

5. Medir o justificar la alternativa con su propia composición y banda; otra ruta puede tener una dispersión diferente.

H.47 Orientaciones del capítulo 45

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 45

1. DGD es una diferencia instantánea de retardos; el parámetro PMD depende del método y la estadística. No sustituir uno por otro sin declarar el modelo.

2. Expresar valor en ps y coeficiente en ps/√km cuando corresponda; declarar longitud utilizada y validez de la normalización.

3. Comprobar piso de medida, rango, repetibilidad y método frente al valor esperado; un resultado pequeño no demuestra que sea despreciable.

4. Comparar con la tolerancia del modo real y sus condiciones. Las distribuciones simuladas no pronostican indisponibilidad del enlace.

5. Recaracterizar o justificar el alcance afectado por cambios de fibra, componentes y ruta; mantener historial y estado aceptado.

H.48 Orientaciones del capítulo 46

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 46

1. Ubicar referencias en los planos de entrega y verificar que el montaje incluye todos los elementos objeto de aceptación.

2. Revisar y probar conexiones agregadas después de la campaña; la evidencia del canal anterior no cubre automáticamente el nuevo.

3. Conciliar claves únicas de fibra, banda y sentido. Faro exige 3456 resultados válidos, incluidas las fibras de reserva entregadas.

4. Evaluar incertidumbre y método contra el presupuesto disponible; un intervalo que cruza el límite no se transforma en aprobación por redondeo.

5. Actualizar extremos, componentes y revisión final y relacionarlos con las adquisiciones aceptadas; conservar estados anteriores como historial.

H.49 Orientaciones del capítulo 47

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 47

1. Comparar recepción de bobina, controles del tendido y pruebas finales; sin línea base cuesta atribuir daños al momento correcto.

2. Mantener caja, bandeja, posición, fibras y coordenada ejecutada de cada empalme, con sus pruebas e historial.

3. Usar bandas y extremos pactados para la entrega; complementar OTDR con pérdida y caracterización requeridas por la aplicación.

4. Contrastar pérdida, CD, PMD y calidad del modo en principal y alternativa; la continuidad sola no demuestra aptitud de transmisión.

5. Registrar cable y empalmes añadidos, recalcular presupuesto y repetir alcance afectado, actualizando planos, reservas y pruebas.

H.50 Orientaciones del capítulo 48

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 48

1. Elegir enlace permanente o canal y los adaptadores correspondientes; incluir solo los componentes de ese alcance y declarar exclusiones.

2. Usar NVP y perfil con fuente documentada, medio y edición aplicables; verificar configuración antes de interpretar longitud y márgenes.

3. Conservar peor par, frecuencia y margen de cada parámetro; un promedio favorable puede ocultar un incumplimiento localizado.

4. Cuando hay alimentación, evaluar parámetros adicionales de resistencia, desequilibrio, corriente y temperatura según sistema y norma aplicables.

5. Repetir el conjunto de pruebas que pueda afectar la reparación y conservar comparación; corregir NEXT no demuestra por sí solo todos los parámetros.

H.51 Orientaciones del capítulo 49

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 49

1. Precisar puerto físico, CIR, tasa útil y capa contada. Faro entrega 40 Gb/s comprometidos sobre una interfaz de 100 Gb/s.

2. Coordinar acceso y presencia donde la prueba implique planta, bucles, protección o recursos controlados por el operador.

3. Registrar protección activa, ruta, carga y capacidad residual. Un resultado sin estado de protección no describe todas las contingencias.

4. Listar requisitos sin evidencia o con resultado pendiente; el caso mantiene pérdida IP y diversidad física condicionadas.

H.52 Orientaciones del capítulo 50

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 50

1. Relacionar umbral con hardware, modo, modulación, FEC y versión aceptados; evitar trasladarlo entre interfaces aparentemente semejantes.

2. Registrar canales activos, potencias y carga representativa; un único canal puede no reproducir las limitaciones del sistema equipado.

3. Validar sincronismo y tiempo de medida, excluir intervalos no válidos y declarar población y confianza; cero errores no significa BER nula.

4. Recalcular pérdidas, calidad y reserva después de la intervención; aceptar solo si permanece el margen exigido para el servicio.

H.53 Orientaciones del capítulo 51

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 51

1. Dibujar ubicación y capa del bucle; una prueba que regresa antes del tramo reclamado no lo evalúa.

2. Correlacionar alarmas con relojes conocidos y dependencias; la primera marca observada orienta, pero no demuestra por sí sola causa física.

3. Usar ventanas y estados comparables, registrar reinicios y descartar contadores acumulados que no correspondan al ensayo.

4. Conciliar cliente, ODU, OCh y puertos con la revisión efectiva; cambios de mapeo pueden invalidar comparaciones anteriores.

H.54 Orientaciones del capítulo 52

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 52

1. Declarar bytes contados, FCS, etiquetas y sobrecargas; convertir la tasa ofrecida al mismo plano en que se define el CIR.

2. Probar las clases juntas para observar competencia. En Faro, C1 y C2 incumplen inicialmente aunque C3 cumple.

3. Mantener pruebas disruptivas y de exceso en un entorno fuera de servicio autorizado; RFC 2544 no se ejecuta sobre producción.

4. Registrar extremos, sentido, clases, tamaños, tasa y ventanas. Los tiempos de ejemplo no acreditan por sí solos una ejecución íntegra de Y.1564.

H.55 Orientaciones del capítulo 53

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 53

1. Precisar sistema repetido o no repetido, ramificaciones, terminales y límites de acceso; el método depende de esa arquitectura.

2. Relacionar evidencia autorizada del operador con requisitos concretos; registrar lo no disponible como pendiente y acordar cómo resolverlo.

3. Revisar terceros, cruces, ductos, entradas, equipos y energía del backhaul, además de la parte submarina.

4. Actualizar trazado, empalmes, longitudes y márgenes, y repetir las pruebas afectadas hasta la prestación entregada.

H.56 Orientaciones del capítulo 54

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 54

1. Separar soporte declarado y combinación ensayada, con versiones, carga, estados y limitaciones; una matriz comercial no es un acta de prueba.

2. Comprobar modo, FEC, potencia, firmware y host, además del formato del módulo; probar el repuesto antes de depender de él.

3. Ejecutar fallas y retorno acordados observando alarmas, datos y aplicación; una sesión estable no acredita recuperación.

4. Evaluar qué funciones cambian y repetir esas pruebas; mantener la revisión anterior y la nueva con sus alcances.

H.57 Orientaciones del capítulo 55

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 55

1. Construir trazabilidad requisito-método-resultado-decisión, indicando alcance, versión y pendientes; evitar informes favorables sin requisito identificable.

2. Guardar formatos nativos, configuraciones y exportaciones con integridad; un PDF de capturas no sustituye los originales disponibles.

3. Comparar claves esperadas y presentes, detectar duplicados y exigir estados válidos; contar filas no prueba cobertura completa.

4. Identificar la revisión posterior a la última intervención y sus pruebas; el caso FARO-R2 conserva resultados iniciales y finales.

H.58 Orientaciones del capítulo 56

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 56

1. Registrar fuente, estado y error de sincronización. Para retardo unidireccional se necesita conocer la relación entre ambos relojes.

2. Definir el estadístico, población y pares usados. El ejemplo informa percentil 95 del valor absoluto de IPDV entre paquetes consecutivos válidos.

3. Mantener secuencias enviadas y pérdidas separadas de retardos; nunca asignar cero milisegundos a una respuesta ausente.

4. Declarar ventana, respuestas válidas y método de percentil; un p99 favorable puede coexistir con pérdida que incumple el objetivo.

H.59 Orientaciones del capítulo 57

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 57

1. Informar goodput recibido y validado en destino; la tasa del generador puede incluir tráfico descartado o retransmitido.

2. BDP = tasa × RTT. A 40 Gb/s y 80 ms son 400 MB; una ventana de 64 MB limita idealmente a 6,4 Gb/s.

3. Comparar uno y varios flujos con condiciones iguales; la suma puede ocultar una aplicación que necesita una única sesión rápida.

4. Definir qué significa finalización persistente y verificar integridad y recuperación; recibir bytes en memoria no acredita almacenamiento durable.

H.60 Orientaciones del capítulo 58

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 58

1. Construir matriz de destinos y ráfagas representativas, con duración y clases; la media de tráfico puede ocultar microcongestión.

2. Elegir muestreo que observe el fenómeno; una ráfaga de 2 ms puede desaparecer en promedios de varios segundos.

3. Observar progreso, cola, pérdida y latencia por clase bajo competencia; una prioridad alta no debe ocultar bloqueo de otras funciones requeridas.

4. En Faro, verificar 32 Gb/s sobre 40 Gb/s sobrevivientes bajo mezcla real y límites por clase, no solo con suma nominal.

H.61 Orientaciones del capítulo 59

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 59

1. Comprobar VRF, clase, ruta, tamaño y tratamiento; una sonda de gestión puede recorrer un camino diferente al del usuario.

2. Verificar CPU, interfaz, tasa y contadores del reflector con una referencia local; descartar que genere el cuello de botella.

3. Registrar capacidad y descartes de captura; ausencia en el archivo no demuestra pérdida en red si el capturador también pierde.

4. Combinar observaciones a ambos lados y pruebas con alcance conocido; el bucle localiza solo el segmento que realmente atraviesa.

H.62 Orientaciones del capítulo 60

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 60

1. Validar código, contenido, consistencia y operación de negocio. Una respuesta rápida con datos incorrectos no cumple.

2. Mantener la carga ofrecida según el modelo acordado; si se reduce al subir la demora, puede ocultar saturación.

3. Declarar caché caliente o fría, reutilización de sesiones, usuarios y mezcla; comparaciones diferentes requieren interpretación explícita.

4. Ejecutar recuperación con identidad, DNS, certificados, claves y catálogo necesarios; el enlace recuperado no garantiza operación válida.

H.63 Orientaciones del capítulo 61

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 61

1. Identificar proceso por GPU, topología local y entre nodos; busbw es una métrica normalizada del ensayo, no lectura directa de cada enlace.

2. Combinar colectivas, tamaños, ranks y acceso a almacenamiento representativos; una transferencia aislada no prueba el entrenamiento completo.

3. Observar marcado, reacción de emisores, pausas y progreso bajo congestión; configurar ECN o PFC no demuestra respuesta correcta.

4. Validar colectivas, almacenamiento y recuperación durante reconstrucción y pérdida de camino, con integridad y capacidad restante.

H.64 Orientaciones del capítulo 62

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 62

1. Nombrar la amenaza y el ámbito. Una declaración frente a corte de ducto no demuestra tolerancia a pérdida regional o identidad común.

2. Mantenerlos condicionados y solicitar evidencia apropiada; no declarar diversidad completa apoyándose únicamente en proveedores distintos.

3. Revisar energía, pasos, chasis, administración y procedimiento compartidos; una intervención común también puede afectar ambos dominios.

4. Actualizar la matriz tras cambios y reparaciones; vincular cada afirmación con versión y evidencia vigentes.

H.65 Orientaciones del capítulo 63

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 63

1. Validar alarmas, capacidad, configuración y operación de la alternativa antes de provocar la falla del camino activo.

2. Usar tráfico de prueba y registros con resolución suficiente. Una muestra cada 100 ms no mide con precisión una conmutación de pocos milisegundos.

3. En Faro, 32/40 = 80 % del CIR sobreviviente; probar además calidad por clase y aplicación bajo esa carga.

4. Ensayar retorno y estabilización como evento propio; una recuperación exitosa puede ir seguida de otra interrupción durante la reversión.

H.66 Orientaciones del capítulo 64

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 64

1. Terminar el RTO cuando la función acordada opera correctamente; si identidad tarda 34 minutos, no se cumple un RTO de 30 aunque la red vuelva antes.

2. Comparar datos y transacciones recuperados con el último estado válido y la pérdida tolerable; no inferir RPO del tiempo de copia solamente.

3. Dimensionar demanda nueva y atraso simultáneos, con ventanas, almacenamiento y competencia durante la recuperación.

4. Probar disponibilidad y acceso a identidad, claves y personas bajo el escenario, incluidos mecanismos de emergencia autorizados.

H.67 Orientaciones del capítulo 65

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 65

1. Marcar extremos de MACsec, IPsec o TLS y segmentos entre ellos; los distintos cifrados pueden proteger dominios diferentes.

2. Medir con cifrado, inspección y políticas efectivamente habilitados; el rendimiento sin controles no representa el servicio protegido.

3. Asignar emisión, custodia, renovación, revocación y recuperación, con pruebas de acceso durante contingencias.

4. Situar la mitigación aguas arriba del recurso que podría saturarse; filtrar dentro del campus puede llegar demasiado tarde.

H.68 Orientaciones del capítulo 66

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 66

1. Nombrar un coordinador que mantenga cronología, responsables y decisiones entre operadores, sin sustituir las competencias de cada uno.

2. Asignar propietario y método de comprobación a cada segmento e interfaz; un vacío de responsabilidad impide cerrar la atribución.

3. Validar capacidad, calidad, seguridad y función mínima en la ruta temporal; registrar restricciones y vigencia.

4. Cerrar acciones solo con dueño, plazo y evidencia verificable; comprobar que recuperan margen y preparación para nuevas fallas.

H.69 Orientaciones del capítulo 67

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 67

1. Representar dato ausente, inválido y valor cero como estados distintos; alertar también por pérdida de observación.

2. Asignar severidad, acción y responsable, con escalamiento y prueba de llegada; una alarma sin respuesta no completa el control.

3. Registrar sincronización, error y referencia común; diferencias menores que la incertidumbre no establecen un orden causal fiable.

4. Probar acceso fuera de banda y telemetría cuando producción está caída, incluyendo energía, identidad y canales alternativos.

H.70 Orientaciones del capítulo 68

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 68

1. Asignar una fuente responsable a identidad, ubicación, configuración y estado; resolver discrepancias mediante conciliación y revisión.

2. Mantener estados de diseño, reservado, instalado y aceptado; una previsión no debe consumirse como recurso ya disponible.

3. No confirmar OT-68-02 ni presentar AMP-P01 como instalado. Comprobar titular, vigencia y versión de OT-68-01; registrar el conflicto y decidir espera, alternativa apta o liberación autorizada. La asignación debe ser indivisible y quedar conciliada antes de instalar.

4. Actualizar relaciones físicas y servicios afectados, repetir pruebas necesarias y conservar el historial de la modificación.

H.71 Orientaciones del capítulo 69

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 69

1. Revisar alimentación, consolas, identidad, enlaces y ubicación; compartir un punto crítico puede anular la gestión durante la falla.

2. Separar lectura de estado y capacidad de actuar; una consola inaccesible puede impedir recuperación aunque siga llegando telemetría.

3. Aplicar autorización por tarea y tiempo, registrar actividad y retirar acceso al cerrar la intervención.

4. Ejecutar una recuperación autorizada sin producción y comprobar que los accesos y procedimientos siguen utilizables.

H.72 Orientaciones del capítulo 70

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 70

1. Definir para cada paso acción, evidencia esperada, condición de avance y criterio de detención; evitar instrucciones ambiguas.

2. Verificar recursos y compatibilidad de retorno antes de cada fase y conservarlos hasta aceptar el destino.

3. Consultar dependencias y ocupación vecina; proteger servicios que comparten panel, energía, equipo o área de trabajo.

4. Conciliar configuración y ocupación finales, retirar temporales autorizados y actualizar planos, inventario y evidencias.

H.73 Orientaciones del capítulo 71

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 71

1. Mostrar diferencias de recursos y configuración, alcance e impacto antes de ejecutar; comprobar requisitos previos y versión de origen.

2. Registrar cada acción y resultado parcial; tras un error, consultar estado real antes de repetir para evitar duplicaciones.

3. Aplicar por fases con gestión y alternativa verificadas; detener el despliegue si desaparece la capacidad de recuperar.

4. Comprobar tráfico y operación final con medidas independientes; una respuesta exitosa de API solo acredita la solicitud o acción informada.

H.74 Orientaciones del capítulo 72

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 72

1. Autorizar tareas y ámbitos concretos según competencia demostrada; conocer teoría no habilita automáticamente cualquier intervención.

2. Evaluar interpretación de resultados próximos al límite, datos ausentes y fallas del montaje, además de ejecución rutinaria.

3. Incluir criterios de detención, protección del servicio y escalamiento; valorar la decisión de no continuar ante un riesgo no resuelto.

4. Pedir a operación que ejecute una tarea o recuperación con el expediente recibido y registrar las carencias detectadas.

H.75 Orientaciones del capítulo 73

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 73

1. Relacionar requisito con plano, equipo, cálculo y prueba de aceptación; registrar supuestos y pendientes que condicionan la solución.

2. Distribuir fibras, puertos, espacio y capacidad por edificio y dominio; una suma global puede ocultar un déficit local.

3. Usar una revisión coherente y una lista de materiales conciliada con planos; identificar claramente componentes futuros.

4. Recalcular pérdidas, capacidad, SRLG y cobertura antes de aprobar y recibir la modificación ejecutada.

H.76 Orientaciones del capítulo 74

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 74

1. Definir puntos de inspección antes de cerrar ductos o espacios y conservar evidencia; después puede ser imposible verificar sin deshacer obra.

2. Declarar equipos, configuraciones y funciones cubiertos en fábrica y sitio, junto con pendientes de integración y carga real.

3. Provocar la condición autorizada y seguir alarma, recepción, decisión y acción; comprobar que los canales sobreviven al escenario.

4. Hacer una transferencia práctica: localizar recurso, consultar prueba, intervenir y recuperar usando la documentación final.

H.77 Orientaciones del capítulo 75

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 75

1. Registrar identificador, edición, enmiendas y alcance; volver a verificar vigencia antes de licitar o contratar.

2. Marcar borradores y documentos informativos como tales; no atribuirles la condición contractual de una norma publicada y adoptada.

3. Verificar alcance concreto de acreditación y actividad, no solo logotipo o nombre del laboratorio.

4. Precisar si se evaluó componente, canal, servicio, proceso o edificio; evitar extender la certificación a objetos no incluidos.

H.78 Orientaciones del capítulo 76

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 76

1. Igualar extremos, capacidad, escenarios, calidad y horizonte antes de comparar costos; ajustar diferencias de alcance explícitamente.

2. Incluir instalación, equipos, licencias, energía, cross connects, operación, pruebas y salida, evitando duplicar partidas.

3. Variar demanda, plazo, moneda, energía y ampliaciones; mostrar qué supuesto cambia la alternativa preferida.

4. Definir condiciones de migración, devolución, retiro, cambios y continuidad, con responsabilidades y costos de transición.

H.79 Orientaciones del capítulo 77

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 77

1. Describir extremos físicos y lógicos, prestaciones, restricciones y dependencias necesarias para cada producto del catálogo.

2. Vincular factibilidad con fecha, recursos y condiciones; revalidar cuando cambia diseño, demanda o plazo.

3. Reservar el conjunto completo de recursos con vigencia y controlar concurrencia; una promesa comercial no debe duplicar una asignación.

4. Acordar cómo aceptación, reservas, facturación y comienzo del SLA se relacionan; no asumir que encender el enlace inicia todos los hitos.

H.80 Orientaciones del capítulo 78

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 78

1. Evaluar capacidad física, puertos, licencias, energía, espacio y operación; el cuello de botella puede ser distinto de la fibra libre.

2. Asignar reservas a crecimiento, intervención o contingencia y verificar que no se prometen simultáneamente para usos incompatibles.

3. Comparar carga, servicio útil, periodo y frontera energética equivalentes; una mejora de tasa no demuestra por sí sola menor consumo total.

4. Inspeccionar y probar compatibilidad, pérdidas, margen y soporte antes de reutilizar, actualizando estado e historial.

H.81 Orientaciones del capítulo 79

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 79

1. El integrador conserva la matriz completa y solicita evidencias autorizadas de cada tercero; no transforma documentos faltantes en conformidad.

2. Incluir XC, ODF, troncal y latiguillos hasta el equipo del cliente, con identidad, pérdida y mapa de la configuración final.

3. Revisar host, PCIe, CPU, ventana TCP y aplicación. El escenario de 40 Gb/s y 80 ms requiere BDP ideal de 400 MB.

4. La independencia queda condicionada mientras no se resuelvan puente P-17 y paso PEN-02; dos carriers no cierran esa reserva.

H.82 Orientaciones del capítulo 80

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 80

1. Sí, como cálculo nominal: 32/40 = 80 %. La aceptación requiere además prueba de calidad, clases y operación durante contingencia.

2. El caso mantiene tramos compartidos identificados y exige evidencia de corrección; no declara una inspección de campo ficticia.

3. Mantener recursos y procedimiento de retorno hasta validar aplicación y estabilidad; comprobar también políticas y camino remoto.

4. Perder un puerto no reproduce pérdida de sala, energía o gestión. Cada escenario necesita alcance y prueba propios.

H.83 Orientaciones del capítulo 81

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 81

1. Sí: cada troncal de 144 usa 96 fibras y conserva 48. No compensar un déficit local con reserva de otro edificio.

2. La opción de 192 fibras para 32 racks es una previsión; las seis troncales instaladas del caso siguen siendo de 144.

3. Revisar chasis, energía, control y distribución compartidos; añadir enlaces puede extender el mismo dominio en vez de crear otro.

4. Comprobar bandejas, paneles, accesos, ventilación y coexistencia temporal, además del número final de fibras y puertos.

H.84 Orientaciones del capítulo 82

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 82

1. Cuatro NIC de 200 Gb/s suman 100 GB/s nominales por nodo; verificar PCIe, NUMA, memoria y topología antes de atribuir esa tasa a la aplicación.

2. Declarar caché, confirmación de escritura y prueba de recuperación; distinguir bytes recibidos de datos persistidos e íntegros.

3. Mantener operación, tamaño por rank, colocación, versiones y unidades. Cambiar esas condiciones impide atribuir toda variación al número de GPU.

4. Recuperar un checkpoint y verificar estado y datos bajo la carga y falla previstas; escribir rápido no basta para demostrar recuperación.

H.85 Orientaciones del capítulo 83

Consultar las preguntas y el desarrollo del capítulo 83

1. Conservar el origen y los recursos de retorno hasta aceptar destino y estabilidad; retirar antes reduce la capacidad de recuperación.

2. En la cronología se detiene A a 00:14 y B permanece sin intervenir; el MOP impide avanzar sobre el segundo dominio.

3. Desde el síntoma a 00:12 hasta operación validada a 00:25 transcurren 13 minutos; restaurar físicamente a 00:18 es otro hito.

4. Actualizar mapa real, montaje, inventario, pruebas y MOP; comprobar después que el procedimiento detecta la discrepancia que originó el incidente.

Anexo I Protocolos de aceptación

I-01. La aceptación se organiza por producto y demarcación. Un mismo proyecto puede necesitar varios protocolos relacionados. El responsable fija límites y regla de decisión antes del ensayo, y explica cómo se tratan incertidumbre, datos inválidos y pruebas no ejecutadas.

Tabla I.1. Anexo I Protocolos de aceptación

Entrega	Contenido mínimo del protocolo	Evidencia de cierre
Fibra o canal pasivo	Identidad, polaridad, inspección, pérdida y caracterización adicional pertinente.	Cobertura por fibra, sentido y longitud de onda; plano final y archivos.
Cobre balanceado	Modelo de enlace, categoría, adaptadores, mapa de hilos y parámetros eléctricos exigidos.	Archivos nativos y gráficas, peor margen, alcance y límite seleccionado.
Canal óptico / OTN	Modo, interfaz, mapeo, carga, calidad, errores, alarmas y protección definida.	Lecturas válidas, estados y límites específicos del sistema.
Ethernet	UNI, perfil, clases, tamaños, sentidos, configuración y desempeño simultáneo.	Resultados por servicio y condición; método adoptado.
IP / transporte	Métricas definidas, ruta/estado, carga, relojes y extremos; pruebas TCP si proceden.	Estadística, pérdidas y límites de responsabilidad.
Plataforma y aplicación	Transacción, datos, concurrencia, persistencia, recuperación y función útil.	Validación por propietario de la aplicación.

Tabla I.2. Anexo I Protocolos de aceptación

Campo	Dato que debe registrarse
Plan y autorización	ID/versión [__]; producto [__]; requisito [__]; alcance [__]; exclusiones justificadas [__].
Criterios y matriz	Caso [__]; límite y documento [__]; método [__]; duración/muestra [__]; responsable [__].
Preparación	Inventario conciliado [__]; instrumentos [__]; configuración [__]; alternativa y retorno [__].
Resultado	Caso ejecutado [__]; evidencia [__]; valor [__]; conformidad según regla [__]; incidencia [__].

I.2 Continuidad y acta de decisión

I-02. Una prueba de continuidad describe la falla inducida de manera precisa. Retirar un puerto no demuestra pérdida completa del MMR, del edificio o del sitio. Las pruebas que no pueden ejecutarse se identifican y se respaldan mediante otro tipo de evidencia, conservando esa limitación.

Tabla I.3. Continuidad y acta de decisión

Campo	Dato que debe registrarse
Escenario	Requisito [__]; recurso/evento retirado [__]; servicios afectados [__]; condición no simulada [__].
Precondiciones	Estado sano de ambos caminos [__]; capacidad alternativa [__]; acceso OOB [__]; autorizaciones [__].
Estímulo y observación	Instante y acción [__]; carga [__]; punto de captura [__]; alarmas [__]; sincronización [__].
Tiempos y datos	Inicio del impacto [__]; primer tráfico [__]; recuperación estable [__]; transacción válida [__]; pérdida de datos [__].
Capacidad degradada	Tasa útil [__]; mezcla [__]; colas/errores [__]; duración [__]; margen y restricciones [__].
Retorno	Condición y acción [__]; estabilidad [__]; validación de ambos dominios [__]; retiro de ajustes temporales [__].

I.2.1 Acta de aceptación por alcance

Tabla I.4. I.2.1 Acta de aceptación por alcance

Campo	Dato que debe registrarse
Decisión	Aceptado / aceptado con reservas expresas / rechazado / no evaluado [__].
Sustento	Requisitos conformes [__]; no conformes [__]; evidencia faltante [__]; pruebas no realizadas y motivo [__].
Reservas y riesgos	Restricción de uso [__]; acción [__]; responsable [__]; fecha [__]; autoridad que acepta el riesgo [__].
Firmas	Quien entrega [__]; quien recibe [__]; responsable técnico [__]; fecha [__]; referencias de versión [__].

La firma no transforma una excepción en resultado conforme. El acta distingue capacidad instalada, capacidad probada y servicio autorizado para operar. Después de una corrección se repiten los casos afectados y las interacciones que el cambio pueda haber alterado.

I.3 Campus Faro: acta de aceptación parcial resuelta

Acta de ejercicio FARO-ACT-02, revisión FARO-R2. Se recibe el alcance óptico interno representado por los 3456 resultados finales y los ensayos Ethernet descritos. La decisión global es aceptación

parcial con reservas. No se registra una aceptación comercial real ni se añaden firmas de personas inexistentes.

Tabla I.5. Campus Faro: acta de aceptación parcial resuelta

Reserva	Evidencia actual	Acción necesaria para proponer cierre
Pérdida IP de A bajo carga	4 pérdidas en 9000; 0,04444 % frente a 0,01 % máximo	Corregir causa y repetir con protocolo acordado; no hay repetición favorable en el conjunto
Diversidad del puente P-17	Riesgo común identificado	Ejecutar alternativa y comprobar trazado conforme a obra
Paso PEN-02	Convergencia física identificada	Construir y aceptar separación adecuada al escenario
Recuperación de identidad	34 min frente a RTO de 30 min	Corregir dependencia y validar recuperación funcional

Cada acción real requiere responsable nominal, fecha, aceptación del método y evidencia posterior. La recepción física no elimina estas reservas ni inicia automáticamente SLA o facturación: esos hitos deben vincularse de manera explícita en el contrato. El receptor puede aceptar una parte y mantener otra pendiente sin alterar los datos iniciales.

Anexo J Procedimientos operativos

J-01. Modelo de SOP para una tarea repetible: objetivo y alcance [__]; recursos [__]; competencias [__]; seguridad y permisos específicos [__]; precondiciones [__]; pasos con verificación [__]; desviaciones [__]; registros [__]; revisión [__]. El SOP se convierte en una orden concreta al fijar activos, fecha y responsables.

J.1 MOP de una intervención concreta

Tabla J.1. MOP de una intervención concreta

Campo	Dato que debe registrarse
Identidad	MOP [__]; versión [__]; cambio/OT [__]; servicio y activos [__]; propietario [__].
Impacto y ventana	Función afectada [__]; riesgo [__]; ventana con zona horaria [__]; duración prevista [__].
Equipo y coordinación	Ejecutor [__]; verificador [__]; coordinador [__]; NOC/carriers/cliente [__].
Precondiciones	Alternativa sana [__]; prueba de OOB [__]; repuestos [__]; copia de configuración [__]; destino probado [__].
Línea base	Tráfico, alarmas, contadores y transacción [__]; fecha y archivos [__].
Parada	Condición observable que obliga a detener [__]; quién decide [__]; tiempo disponible para retornar [__].
Retorno	Origen preservado [__]; acciones inversas y orden [__]; comprobaciones [__]; punto de irreversibilidad, si existe [__].

Tabla J.2. MOP de una intervención concreta

Paso / hora real	Acción sobre activo exacto	Comprobación y autorización siguiente
1 / [__]	Confirmar identidad y estado inicial [__].	Registro [__]; continuar solo si [__].
2 / [__]	Intervenir el primer dominio [__].	Resultado [__]; parada/retorno si [__].
3 / [__]	Validar canal, servicio y aplicación [__].	Evidencia [__]; decisión [__].
4 / [__]	Ejecutar siguiente fase autorizada [__].	Alternativa y cierre de fase [__].

J.2 EOP y cronología de incidente

J-02. Un EOP debe poder usarse durante una degradación real. Declara síntomas que lo activan, acciones iniciales autorizadas, contactos y límites de actuación. Las decisiones se apoyan en el estado observado y no en la suposición de que todo el inventario está sano.

Tabla J.3. EOP y cronología de incidente

Campo	Dato que debe registrarse
Activación	Síntoma/alarma [__]; servicios afectados [__]; responsable de declarar incidente [__]; prioridad [__].
Primeras acciones	Confirmar impacto [__]; preservar evidencia [__]; evitar cambios simultáneos [__]; acceso OOB [__].
Contención	Acciones autorizadas por escenario [__]; consecuencias [__]; condiciones de parada [__].
Escalamiento	Carrier/planta/plataforma/seguridad [__]; canal de contacto [__]; suplente [__]; referencia contractual [__].
Recuperación	Ruta o estado elegido [__]; capacidad [__]; transacción y datos que validan recuperación [__].
Cierre provisional	Función restablecida [__]; restricciones [__]; monitoreo [__]; autoridad de cierre [__].

Tabla J.4. EOP y cronología de incidente

Hora y fuente	Hecho observado o acción	Evidencia / responsable
[__]	Síntoma y primer impacto comprobado [__].	Métrica y punto de observación [__].
[__]	Hipótesis y comprobación [__].	Dato que la confirma o descarta [__].
[__]	Cambio de recuperación [__].	Orden, ejecutor y resultado [__].
[__]	Tráfico y aplicación válidos sostenidos [__].	Prueba, datos y responsable [__].

Después del incidente: causa confirmada o pendiente [__]; desencadenante [__]; condiciones contribuyentes [__]; brecha del proceso [__]; acciones con responsable y plazo [__]. Actualizar planos, inventario, umbrales y procedimientos relacionados. Mantener separadas hora de retorno físico, recuperación del servicio y validación de datos.

J.3 Campus Faro: MOP de migración y retorno resuelto

Tabla J.5. Campus Faro: MOP de migración y retorno resuelto

Paso	Evidencia esperada	Detención o retorno
Comprobar línea base	Aplicación correcta, B sano y retorno disponible	No iniciar ante reserva crítica no resuelta
Preparar destino A	Mapa completo, inspección y pérdida correctos	Resolver identidad o polaridad discrepante

Paso	Evidencia esperada	Detención o retorno
Trasladar solo A	Extremos y acción registrados	Detener ante alarma o fallo funcional
Validar destino	Carga, transacción y estabilidad	Ejecutar retorno si no se cumple criterio
Actuar sobre B	A previamente aceptado y retorno preparado	No intervenir ambos dominios sin cobertura
Cerrar	Inventario, plano, evidencias y temporales conciliados	Mantener acciones posteriores abiertas hasta comprobarlas

Cronología del incidente del capítulo 83: 00:10 cambio; 00:12 síntoma; 00:14 detención y decisión de retorno; 00:18 restitución física; 00:25 operación validada. La recuperación funcional desde el síntoma dura 13 min. Los criterios y las firmas se completan para la intervención real; el ejemplo no autoriza ejecutar un cambio en infraestructura existente.

Anexo K Expediente de entrega

K-01. El expediente permite operar, mantener y auditar lo recibido. Un enlace a una carpeta sin índice ni control de versiones dificulta distinguir la configuración vigente de la anterior. Esta matriz se completa con rutas de archivo y permisos efectivos.

Tabla K.1. Anexo K Expediente de entrega

Componente	Contenido comprobable	Control de recepción
Índice y alcance	Proyecto/servicio, versión, fecha, entregables y exclusiones.	ID de expediente [__]; receptor [__].
Requisitos y diseño	Requisitos, factibilidad, cálculos, decisiones y revisiones.	Versión aprobada y cambios [__].
Conforme a obra	Rutas, penetraciones, paneles, fibras, puertos y demarcaciones.	Conciliación de campo [__].
Activos y configuración	Inventario, módulos, modos, software y copias controladas.	Acceso y restauración comprobados [__].
Pruebas de medios	Inspección, OLTS, OTDR y caracterización pertinente.	Cobertura e IDs de archivo [__].
Servicio y función	Transmisión, Ethernet/IP, hosts, aplicación y contingencia.	Escenarios, límites y evidencia [__].
Carriers y terceros	Informes por alcance y relación con el servicio entregado.	Restricciones de evidencia [__].
Operación	SOP/MOP/EOP, contactos, accesos, repuestos y capacitación.	Práctica y responsable [__].
Pendientes y decisión	No conformidades, reservas, riesgos, actas y plan de cierre.	Autoridad, fecha y restricción [__].
Integridad y acceso	Archivos nativos, reportes, versiones, respaldo y permisos.	Hash si se usa; recuperación [__].

Control de cobertura: objetos requeridos [__]; objetos identificados [__]; resultados únicos válidos [__]; duplicados [__]; faltantes [__]. Ejemplo: si se requieren 384 resultados y se reciben 384 archivos, pero 24 son duplicados, solo hay 360 resultados únicos y faltan 24. El conteo de archivos no demuestra cobertura.

Una suma de comprobación ayuda a detectar modificación de un archivo; no certifica que el instrumento se configuró bien ni que el ensayo cubra el alcance contratado. El receptor confirma que puede abrir y relacionar los datos, además de disponer del resumen firmado.

K.2 Cómo utilizar el kit práctico

El paquete Kit_Practico_Campus_Faro.zip de esta edición se identifica como FARO-R5/R7. Al descomprimirlo, abrir inicio.html permite consultar el atlas, las guías, los formularios, las calculadoras

y las preguntas sin conexión. La carpeta libro/ incluye el Word y el PDF de la misma entrega. El manifiesto permite contrastar sus archivos.

Localizador de entrega autorizado: Kit práctico Campus Faro de esta edición

Si el acceso no está habilitado, solicitar al distribuidor el paquete identificado FARO-R5/R7 y comprobar su versión antes de trabajar. El enlace a DC Global Academy es complementario; la academia puede evolucionar sin modificar esta edición.

Tabla K.2. Cómo utilizar el kit práctico

Archivo o carpeta	Uso	Control
Calculadoras_Campus_Faro.xlsx	Cinco hojas editables con entradas y fórmulas	Cambiar entradas y revisar unidades y supuestos
Formularios_Campus_Faro.docx	Ocho modelos en blanco y ejemplos completos	Adaptar, revisar y aprobar para cada proyecto
datos/	CSV, JSON y captura PCAP sintética	Datos simulados, nunca informes de campo
figuras/	146 ilustraciones y gráficas del kit	Mismos datos que el texto y las tablas
inicio.html	Consulta local y cálculo interactivo	No envía datos ni registra información del lector
revision_tecnica.csv	Lista de verificación para especialistas	Revisión externa pendiente
MANIFEST_SHA256.csv	Integridad de todos los archivos del kit	Verificar sobre los archivos descomprimidos
libro/	Libro completo en Word y PDF	Misma identificación FARO-R5/R7 y archivos incluidos en el manifiesto
casos_editoriales/	Inventario, reservas, ejecución parcial y paquete de detalle	Escenarios documentales adicionales; no mediciones reales ni modificaciones de los datos FARO-R2

Las trazas simuladas de Faro se entregan como CSV normalizado y PNG. Los SOR e iOLM públicos originales se conservan por separado en evidencia_publica, con procedencia y licencia. El manifiesto detecta cambios de archivos, pero no certifica su origen metrológico ni la calidad del ensayo. Los registros de validacion y la guía de cierre permiten preparar un expediente real sin atribuirle los datos simulados.

K.3 Laboratorios y evidencia pública del kit

La edición ampliada incorpora laboratorios/laboratorios_faro.py y laboratorios.json para consultar procedimientos y recalcular los archivos. La opción --todos procesa los 23 capítulos; --capitulo 46 concilia la cobertura óptica. resultados_referencia.json conserva una ejecución de referencia del analizador. Este programa no controla instrumentos ni declara ensayos físicos realizados.

evidencia_publica/cambridge contiene el conjunto original descargado y su atribución. Los SOR e iOLM requieren un visor compatible; el informe PDF se consulta directamente. El caso público no utiliza el límite óptico de Faro. Las configuraciones de MTU, FRR e iperf3 son prácticas para un laboratorio preparado y están separadas del cálculo local sin privilegios.

Anexo L Mapa de normas y actualización

Mapa de consulta con registro editorial al 4 de noviembre de 2026. La verificación selectiva de esta revisión se detalla en L.12. Las ediciones indicadas son referencias para preparar la especificación; su obligatoriedad depende de contrato, jurisdicción y alcance. Los catálogos públicos permiten verificar metadatos; el texto completo adoptado debe estar disponible para aplicar requisitos concretos.

Tabla L.1. Anexo L Mapa de normas y actualización

Familia / documento	Edición o estado consultado	Aplicación y límite
TIA-942	Revisión C, 2024. [209]	Infraestructura de data center; no sustituye aceptación de cada servicio.
ANSI/BICSI 002	2024. [208]	Coordinación del diseño del data center.
ISO/IEC 22237-5	TS 2018; FDIS 2026 en tramitación. [125, 215]	Cableado de telecomunicaciones; un FDIS no equivale a norma final publicada.
ISO/IEC 14763-3	2024. [181]	Pruebas de cableado de fibra dentro de su alcance.
IEC 61300-3-35	2022. [137]	Inspección de caras terminales y alcance definido del componente.
ITU-T G.650.1 / G.650.2 / G.650.3	2024 / 2015 / 2017 en las ediciones consultadas. [176, 178, 173]	Caracterización de fibra y enlaces; seleccionar el método aplicable.
ITU-T G.976 / G.979	Noviembre de 2025. [50, 60]	Sistemas submarinos; protocolo por arquitectura y operador.
ITU-T Y.1564	2016 y corrigendum 2021. [97]	Activación de servicios Ethernet; fijar perfil y criterios.
MEF 48.1	2020. [187]	Activación Ethernet dentro del alcance de la especificación.

Para cobre, consultar la edición y el tipo de enlace exigidos en el proyecto, junto con el procedimiento e instrumental correspondientes. Para interfaces IEEE, OIF y documentación del fabricante, registrar velocidad, modo, FEC, revisión y compatibilidad exactos; no usar solamente el nombre comercial de la óptica.

L.2 Registro de edición y revisión técnica

Tabla L.2. Registro de edición y revisión técnica

Referencia	Consulta adoptada	Qué debe conservar el proyecto
IETF: RFC 6349; 7679; 5481	TCP; retardo unidireccional; variación de retardo. [8, 10, 11]	Estado y alcance de cada RFC, métrica y configuración.
IETF: RFC 6815	Uso inapropiado de RFC 2544 en redes de producción. [98]	Entorno y autorización de pruebas que generan carga.
ISO/IEC 17025	2017. [210]	Competencia del laboratorio dentro de su alcance acreditado.
JCGM / BIPM	Colección VIM y GUM consultada. [166]	Magnitud, trazabilidad, incertidumbre y regla de decisión.
NIST SP 800-61	Revisión 3, abril de 2025. [203]	Respuesta a incidentes de ciberseguridad; adaptar responsabilidades.
NIST SP 800-82	Revisión 3 final, 2023; revisión 4 en borrador en 2026. [204]	Seguridad OT; distinguir documento final y propuesta.
ISO/IEC 30134-2	2026. [214]	PUE y sus límites de medición; no equivale a huella por enlace.

Tabla L.3. Registro de edición y revisión técnica

Campo	Dato que debe registrarse
Control normativo	Documento/edición [__]; idioma [__]; fecha de consulta [__]; acceso al texto [__].
Aplicabilidad	Requisito de proyecto [__]; alcance aplicable [__]; cláusula o método [__]; excepción [__].
Cambio editorial	Documento nuevo o modificado [__]; final/borrador [__]; sustituye a [__]; fecha efectiva [__].
Evaluación de cambio	Impacto en diseño, instrumentos, software, prueba y contrato [__]; responsable [__].
Decisión	Mantener edición / adoptar cambio [__]; justificación [__]; revalidación necesaria [__]; versión [__].

Revisar el mapa al iniciar proyecto, antes de comprar instrumentos o especificar pruebas, antes de la aceptación y cuando un cambio técnico lo justifique. La publicación de una edición nueva no cambia silenciosamente un contrato existente: se evalúa, acuerda y registra su adopción. El mapa enlaza documentos, mientras que el protocolo fija qué se aplica y cómo se demuestra.

L.3 Aplicabilidad de métodos de prueba

Tabla L.4. Aplicabilidad de métodos de prueba

Referencia o familia	Uso del libro	Límite de la afirmación
RFC 2544 y advertencia RFC 6815	Benchmark de dispositivos en laboratorio aislado	No usar sobre producción; no sustituye SLA
UIT-T Y.1564	Activación y evaluación Ethernet fuera de servicio	Los tiempos del taller son ilustrativos; protocolo completo según texto adoptado
MEF / Mplify y contrato Ethernet	Atributos, clases y puntos del servicio	Fijar edición, bytes contados y límites concretos
IPPM: retardo, variación y pérdida	Definición reproducible de métricas IP	Declarar reloj, población, percentiles y pérdidas
IEC / ISO / TIA de cableado	Métodos y criterios del objeto adoptado	Identificar edición, enlace o canal y accesorios
JCGM 100 y JCGM 106	Incertidumbre y decisiones de conformidad	Justificar modelo y regla acordada
Manual del instrumento y especificación del modo	Configuración, alcance, umbrales y compatibilidad	No trasladar tolerancias entre modos ni sustituir método por logotipo

L.4 Revisión técnica pendiente y control editorial

Esta ampliación incorpora una comprobación interna de cálculos, consistencia del caso, cobertura de datos, navegación y maquetación. No constituye una revisión independiente por especialistas. El kit incluye una lista para revisión de metrología óptica, transmisión submarina y terrestre, Ethernet/IP, plataformas IA y operación. El estado de esas revisiones se mantiene pendiente.

Antes de usar el libro como especificación, cada especialista debe comprobar método y alcance, ecuaciones y unidades, reglas de decisión, soporte del equipo, condiciones del contrato y vigencia de referencias. Registrar observación, resolución, evidencia, revisor y fecha. Una revisión editorial no convierte las simulaciones en resultados reales.

L.5 Registro de revisión por especialistas

El kit conserva una matriz editable con disciplina, objeto revisado, observación, referencia, corrección, revisor y fecha. Su estado inicial sigue siendo pendiente de revisión externa. El trabajo editorial y las comprobaciones de cálculo no se presentan como firma ni aprobación independiente. Para cerrar una observación se conserva el cambio, la evidencia posterior y la decisión del especialista.

L.6 Estado de validación y puertas de cierre

La revisión FARO-R4 incorpora un procedimiento para convertir el material docente en una validación documentada. Los datos del proyecto siguen siendo FARO-R2. Se conservan los 83 títulos, la portada elegida, las preguntas y la evidencia pública de las revisiones anteriores. El control de esta edición diferencia el cálculo local, la observación de una ejecución física, la revisión independiente y la decisión de publicación.

Puerta 1 Integridad y coherencia. Conciliar archivos, inventario, cálculos y referencias internas. El analizador procesa los 23 laboratorios; veinte producen cálculos o lecturas de archivos y tres preparan comprobaciones documentales. Su ejecución permite comprobar el material entregado, pero no demuestra que se hayan realizado los montajes físicos.

Puerta 2 Validación de campo. Completar los registros de ejecución con equipo, versión, montaje, fecha, operador, datos originales y resultado. Una actividad queda pendiente cuando falta una observación necesaria. La autorización de un montaje corresponde a la organización que opera el entorno.

Puerta 3 Revisión independiente. Un especialista identificado revisa el alcance asignado, presenta hallazgos y decide sobre las correcciones. El registro incluye tanto observaciones abiertas como aceptaciones justificadas. La ausencia de comentarios no equivale a una revisión terminada.

Puerta 4 Prueba con lectores. Observar tareas de consulta y ejecución; registrar errores de interpretación, ayuda requerida y cambios propuestos. Puerta 5 Publicación. Cerrar los hallazgos bloqueantes, revisar atribuciones, realizar la prueba editorial final y registrar quién autoriza esa edición. Las puertas 2 a 5 requieren las evidencias humanas y de campo correspondientes.

El kit contiene validacion/estado_cierre.csv y validacion/revision_externa.csv. Sus estados iniciales conservan los pendientes. El programa de control documental solo indica si los datos mínimos están presentes y si los archivos coinciden con sus hashes; la aceptación técnica sigue siendo una decisión humana.

L.7 Expediente real desde el sistema submarino hasta la aplicación

El expediente real debe pertenecer a un servicio identificado y a una fecha de configuración. La plantilla validacion/expediente_real.csv contiene dieciséis alcances, desde el sistema submarino hasta la recuperación de la aplicación. Cada fila enlaza el objeto, el requisito, los planos o puertos de referencia, el custodio de la evidencia y el ensayo correspondiente. Los campos de resultado permanecen vacíos hasta incorporar evidencia real.

En el sistema submarino se solicita evidencia al operador sobre el sistema y tramo utilizados, terminales, modo de transmisión y alcance de sus pruebas. Los informes de planta sumergida, terminal y servicio conservan sus propios puntos de observación. Una prueba realizada desde una interfaz cliente no demuestra por sí sola la condición de cada elemento sumergido; tampoco debe prescribirse un OTDR convencional a través de una planta repetida.

En estación de amarre y transporte terrestre se relacionan la salida del terminal, la demarcación, las fibras o circuitos de continuidad, los nodos intermedios y la entrega al campus. El análisis de diversidad requiere evidencias de rutas y riesgos compartidos para ambos accesos. Si el operador restringe un plano, registrar su custodio, el mecanismo de revisión y la afirmación que sí puede comprobarse; mantener abierta la parte que no quede demostrada.

Dentro del campus se concilian entrada, canalización, penetración, ODF y MMR; después, la cross connect, los enlaces entre MMR que existan, las troncales a sala blanca y los paneles y puertos del rack. Cada conexión añadida al canal exige revisar el alcance de la evidencia anterior. Conservar el mapa completo de fibras y polaridad junto con el resultado del objeto realmente entregado.

La evidencia de equipos relaciona fabricante, modelo, número de serie cuando proceda, módulo, modo, FEC, versión y configuración vigente. La evidencia de servicio declara VLAN o clasificación, MTU, tasas y bytes contados, carga simultánea, tamaños, duración, sentidos y límites contractuales. El tramo de hosts y aplicación identifica NIC, recursos, versiones, contenido esperado y criterio de recuperación funcional.

Para una medición se registran magnitud, unidad, valor, incertidumbre cuando corresponda y regla de decisión. Para un ensayo funcional se registra el comportamiento esperado y el observado. Para una revisión documental se identifica la afirmación comprobada y su soporte. El archivo original, su reporte derivado y el acta se vinculan sin sustituir uno por otro.

La matriz utiliza los estados Pendiente, No conforme, Indeterminado, Conforme y No aplica justificado. Este último exige alcance y justificación revisados. El estado Conforme exige datos válidos dentro del alcance y el criterio acordado. La decisión integral conserva restricciones, no conformidades y responsables; un resultado conforme de fibra no cierra por sí solo el servicio completo.

validacion/validar_expediente.py comprueba campos y archivos del expediente. Rechaza rutas fuera de su carpeta de evidencia y detecta identificadores duplicados, hashes distintos y cierres sin responsable o fecha. No interpreta las trazas ni valida un límite de ingeniería. El informe inicial del kit devuelve pendientes porque todavía no hay un expediente real aportado.

L.8 Registro de ejecución y selección de pruebas de campo

validacion/ejecucion_23_laboratorios.csv permite documentar cada procedimiento de los capítulos 39 a 61. Se registra preparación, ejecución observada, interpretación y entrega por separado. El estado físico inicial es Pendiente de ejecución; los resultados del analizador se conservan en otra columna. Los formularios previos del kit siguen disponibles para registrar inspección, medición y aceptación.

Antes de la sesión, fijar el objeto y los planos de referencia; identificar método, edición adoptada, condiciones del instrumento, accesorios y límites del sistema. Conservar certificado o información de calibración y verificar su aplicabilidad al método y a la política del proyecto. Una fecha antigua aislada no permite deducir que la calibración haya vencido.

Selección inicial 1 Inspección y pérdida. Ejecutar el capítulo 40 y relacionarlo con 41 y 46. Conservar imagen de cara terminal, referencia OLTS, identificación de cada fibra y cobertura requerida. Documentar antes y después de una corrección, incluida la reinspección. Selección inicial 2 OTDR bidireccional. Aplicar 42 y 43 sobre un enlace conocido, con bobinas apropiadas, correspondencia de eventos y configuraciones conservadas en ambos sentidos.

Selección inicial 3 CD y PMD. Aplicar 44 y 45 cuando el sistema y el alcance lo requieran. Conservar método, banda, unidades, repeticiones y tolerancia del modo adoptado. Una media repetible no demuestra por sí sola el comportamiento temporal completo ni la tolerancia de otro sistema.

Selección inicial 4 Transmisión. Relacionar 50 y 51 con el modo y la FEC utilizados. Conservar contadores, intervalos, bits válidos, alarmas y condiciones de carga. Si se informa cero errores, incluir la duración y el tratamiento estadístico adoptado. Selección inicial 5 Ethernet. Ejecutar 52 con el perfil completo acordado, las clases simultáneas y ambos sentidos; el taller numérico no sustituye ese perfil.

Selección inicial 6 IP y TCP. Relacionar 56 y 57; conservar pérdida por separado, población, percentiles, condiciones del reloj y observación de ambos extremos. Selección inicial 7 Aplicación y plataforma. Ejecutar 60 y, si corresponde al servicio, 61; comprobar contenido, identidad y trabajo útil. Selección inicial 8 Contingencia. Relacionar 49, 62 a 64 y el caso aplicable; comprobar calidad, capacidad restante y recuperación funcional durante la falla definida.

Los fallos se introducen solo en un laboratorio o entorno expresamente preparado. El observador registra la condición introducida, el síntoma y el diagnóstico obtenido. Una discrepancia se conserva como hallazgo con su repetición posterior; se mantienen las evidencias de ambos estados. Para cada selección se declara qué capítulos se observaron y cuáles siguen pendientes.

La plantilla exige el ID del instrumento o del host de prueba, versión, operador, observador, fecha con zona horaria, archivo original y evidencia de configuración. Una fotografía del montaje sirve como apoyo; no reemplaza los datos ni la identificación del objeto medido.

L.9 Revisión independiente y tratamiento de hallazgos

La matriz de revisión asigna metrología e incertidumbre; fibra y cableado; CD y PMD; sistemas submarinos y transmisión; Ethernet e IP; hosts, fabric e IA; operación y resiliencia; y edición técnica. Para cada alcance se registra un revisor con experiencia pertinente. La misma persona puede cubrir más de uno si se deja constancia de su competencia y del alcance aceptado.

El revisor recibe la versión concreta del libro, los archivos del kit y una pregunta de revisión por tema. Debe comprobar afirmación, fuente, unidades, condiciones de aplicación y correspondencia entre procedimiento y evidencia. Cuando requiere el texto completo de una norma, se registra la edición efectivamente consultada. Una consulta a un catálogo solo verifica sus metadatos.

validacion/hallazgos.csv contiene identificador, ubicación, descripción, severidad, fundamento, cambio, evidencia posterior, responsable y resolución del revisor. Bloqueante significa que impide interpretar o ejecutar correctamente un procedimiento o sostener una afirmación de aceptación. Mayor identifica una omisión relevante que requiere corrección; menor identifica una mejora localizada. Se conserva el razonamiento, además de la etiqueta.

Un hallazgo pasa de Abierto a Corregido pendiente de revisión y después a Cerrado por el revisor. Una observación descartada mantiene su justificación. El control interno no firma por un especialista externo. La persona que decide publicar registra los pendientes residuales y su efecto sobre el alcance de la edición.

La hoja revision_tecnica.csv conserva las comprobaciones de las revisiones previas. La matriz nueva añade seguimiento de alcance, competencia, conflicto de interés declarado y evidencia de cierre. Ninguna de las dos contiene aprobaciones humanas generadas automáticamente.

L.10 Piloto de lectura y de uso del material

El piloto utiliza tres perfiles: técnico de campo, ingeniero de redes y responsable de proyecto o contratación. Se registra experiencia previa, capítulos entregados y entorno disponible. La primera ejecución se observa sin explicar anticipadamente la respuesta; toda ayuda se anota para identificar dónde el texto necesita ser más claro.

Tarea del técnico. Preparar el montaje de un enlace, identificar sus extremos, reconocer una evidencia inválida y entregar el registro de una corrección. Tarea del ingeniero. Conciliar inventario y pruebas,

distinguir un resultado indeterminado y localizar una limitación de host o de red. Tarea del responsable de proyecto. Separar infraestructura cercana, acceso contratado y servicio entregable, identificar un riesgo compartido y decidir qué evidencia falta para firmar.

validacion/piloto_lectores.csv incluye seis tareas, dos por perfil. Se conserva éxito observado, tiempo real, ayuda requerida, error de interpretación, ubicación del texto y cambio propuesto. El tiempo es un dato para mejorar el material; esta edición no impone una velocidad universal de lectura o ejecución.

Se utiliza la rúbrica docente de P.4: preparación, ejecución, interpretación y entrega, de 0 a 2 puntos. Registrar como Pendiente la dimensión que no se observó. El umbral de 6/8 sin dimensiones en cero se mantiene como criterio docente. Un lector que resuelve correctamente un cálculo sin realizar el montaje solo ha demostrado esa parte de la actividad.

Cada cambio originado en el piloto debe volver a probarse con una tarea equivalente. Cerrar cuando la instrucción revisada permite repetir la acción y el lector identifica cuándo debe detenerse. Conservar los resultados individuales y la versión probada; la media del grupo no oculta un error crítico de un participante.

L.11 Créditos y procedencia de los materiales

validacion/inventario_derechos.csv identifica la portada, las 146 figuras, las 199 tablas y los cinco archivos originales del conjunto público incorporado. Para cada elemento conserva origen declarado, fuente, transformación, atribución y acción pendiente. Las leyendas que declaran elaboración propia quedan inventariadas; la confirmación final de titularidad corresponde al autor o editor.

Las figuras 42.3 y 43.3 utilizan evidencia de Kovacs, Faruk, Wonfor y Savory, Cambridge Apollo, DOI 10.17863/CAM.108811. El repositorio declara CC BY 4.0. La atribución del kit identifica autores, licencia y transformaciones; los cinco archivos originales se conservan sin modificar. La reutilización no implica respaldo de los autores ni de Cambridge. Las representaciones de Faro se mantienen identificadas por separado.

La bibliografía cita normas, documentación y obras de consulta. Ese inventario no concede permiso para reproducir su texto, tablas o imágenes. Cualquier incorporación futura de material ajeno necesita una comprobación específica de licencia o autorización y de la atribución correspondiente. El editor revisa también créditos y marcas utilizados en portada o publicidad.

La página de créditos identifica al autor y las versiones de contenido, datos y material visual. El kit conserva la procedencia y las transformaciones de los materiales, junto con un registro de las correcciones aplicadas. La atribución de una fuente no se utiliza como aval del libro ni como certificado de la instalación del lector.

Antes de imprimir, verificar tamaño final, márgenes interiores, legibilidad de las figuras, reproducción en escala de grises y prueba física de encuadernación. Los trámites e identificadores de la edición comercial se definen con el editor y el canal de publicación elegidos.

L.12 Control de fuentes erratas y versiones

Esta revisión verificó selectivamente los catálogos oficiales de G.650.1 de enero de 2024, G.650.2 de agosto de 2015, Y.1564 de febrero de 2016 y su corrigendum de junio de 2021, IEC 61300-3-35 de 2022, y el estado del proyecto ISO/IEC FDIS 22237-5. También contrastó el alcance de RFC 6815 y la

licencia del conjunto Cambridge. El registro validacion/fuentes_verificadas.csv conserva URL, fecha de consulta y alcance de la comprobación. [97, 98, 137, 176, 178, 215, 219]

El catálogo ISO consultado mantiene 22237-5 en fase FDIS y presenta TS 22237-5:2018 como publicación vigente a la espera de sustitución. Esta revisión conserva esa distinción. Los catálogos no sustituyen la lectura del método completo antes de adoptarlo. Las otras referencias del libro conservan su registro anterior y no se presentan como verificadas de nuevo en esta pasada.

validacion/registro_erratas.csv identifica capítulo o anexo, edición afectada, texto observado, corrección, impacto, evidencia y versión de resolución. Si una corrección cambia un cálculo, un criterio o una configuración, se vuelven a ejecutar los ejemplos y se revisan figuras, formularios y respuestas relacionados. Una modificación tipográfica también conserva su ubicación para que el lector pueda reconocerla.

El responsable editorial revisa las referencias antes de cada nueva edición y al recibir una alerta técnica pertinente. Se registra el responsable de seguimiento, el documento cambiado y la decisión de mantener o adoptar la nueva edición. El archivo es un plan de trabajo; no crea avisos automáticos ni un sitio público de erratas.

La liberación identifica la revisión del libro y la del conjunto de datos, mantiene un historial de cambios y comprueba enlaces, archivos y paginación. El manifiesto SHA-256 permite detectar diferencias de bytes. La confianza en el origen de una medición requiere además custodia e identificación del ejecutor y del instrumento. Un hash coincidente no certifica la calidad del ensayo.

L.13 Resultado del control interno y trabajo que continúa

El control de esta edición conserva la estructura de 83 capítulos y comprueba objetivos, entregas, preguntas, ecuaciones nativas, figuras, tablas y destinos de navegación. Recalcula los análisis de los 23 laboratorios y contrasta las cantidades principales del caso: 864 fibras instaladas, 576 utilizadas, 288 libres, 3456 resultados OLTS esperados, BDP de 400 MB y estados de aceptación que permanecen abiertos.

La verificación documental prueba también entradas incompletas, archivos ausentes, hashes alterados, identificadores repetidos y rutas ajenas a la carpeta de evidencia. El expediente vacío debe producir pendientes. Una prueba positiva usa archivos temporales de control claramente identificados; no se incorpora al expediente como evidencia real.

El caso Faro conserva su aceptación parcial: la pérdida IP de A bajo carga no tiene repetición favorable, existen riesgos compartidos y la recuperación de identidad excede el RTO del ejemplo. Los buenos resultados ópticos posteriores no borran esos pendientes. El conjunto público de Cambridge mantiene su alcance y el estado original de su informe.

Quedan por ejecutar los montajes físicos y sus contingencias, incorporar un expediente real integral, realizar el piloto de lectores, obtener la revisión externa y cerrar la decisión editorial humana. Los registros permiten avanzar con responsables y evidencia, sin convertir una preparación documental en un ensayo realizado.

Anexo M Atlas físico y montajes de prueba

Este atlas permite reconocer componentes físicos y preparar seis familias de montajes. Las láminas M.1–M.12 siguen entradas, MMR, ODF, cross connect, troncales, salas, racks y equipos; M.13–M.18 relacionan instrumentos, planos de referencia y objetos de prueba.

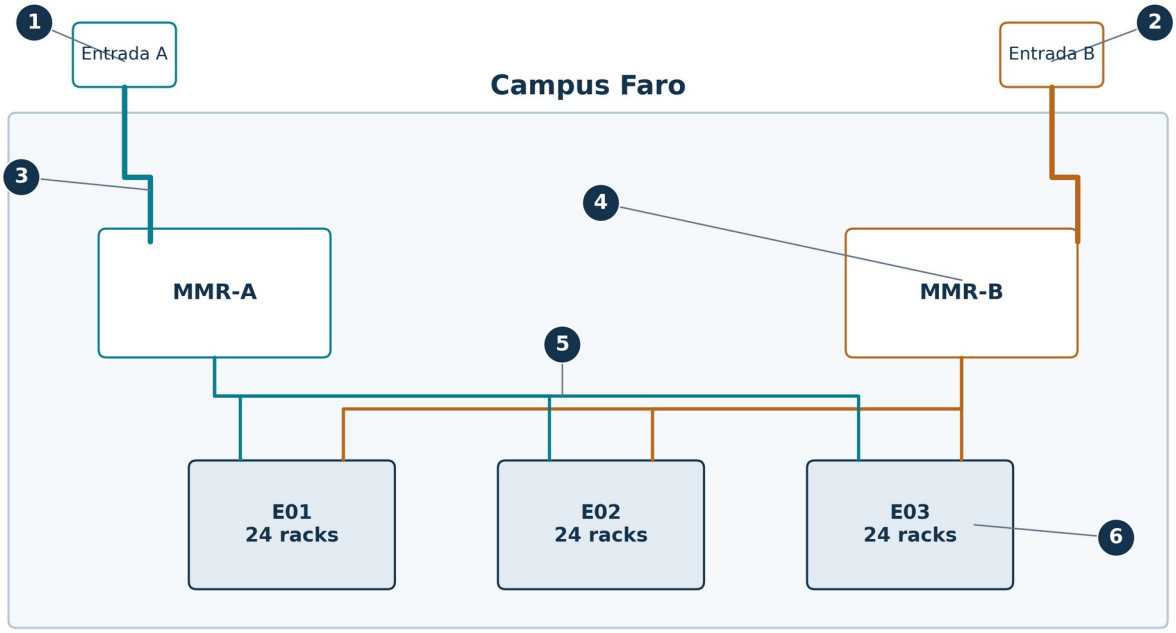
Los identificadores pertenecen al caso didáctico Campus Faro. Los dibujos son esquemas sin escala, no planos de construcción ni instrucciones de un modelo de equipo. Las proporciones y posiciones facilitan la lectura. Los colores A y B conservan identidad y no acreditan independencia física.

Cómo leer cada lámina: siga los números en el dibujo y su clave; relacione el objeto con los capítulos indicados; complete la comprobación con los archivos y decisiones del proyecto. En un montaje, acuerde antes el método, el límite y el estado de servicio, y conserve la configuración y los datos originales.

Los ejemplos numéricos reutilizan datos didácticos del libro. No constituyen adquisiciones de campo. La ejecución física, el expediente real y la revisión independiente siguen sujetos a los registros de validación del kit.

En el kit: las láminas se entregan en PNG a 300 ppp y SVG editable, junto con este atlas en Word y PDF. El registro revision_atlas.csv permite documentar la revisión específica de cada lámina.

M.1 Entradas y distribución física del campus



Esquema didáctico sin escala · Colores e identificadores conservan el alcance del ejemplo

Figura M.1. Entradas y distribución física del campus. Elaboración propia; esquema didáctico sin escala.

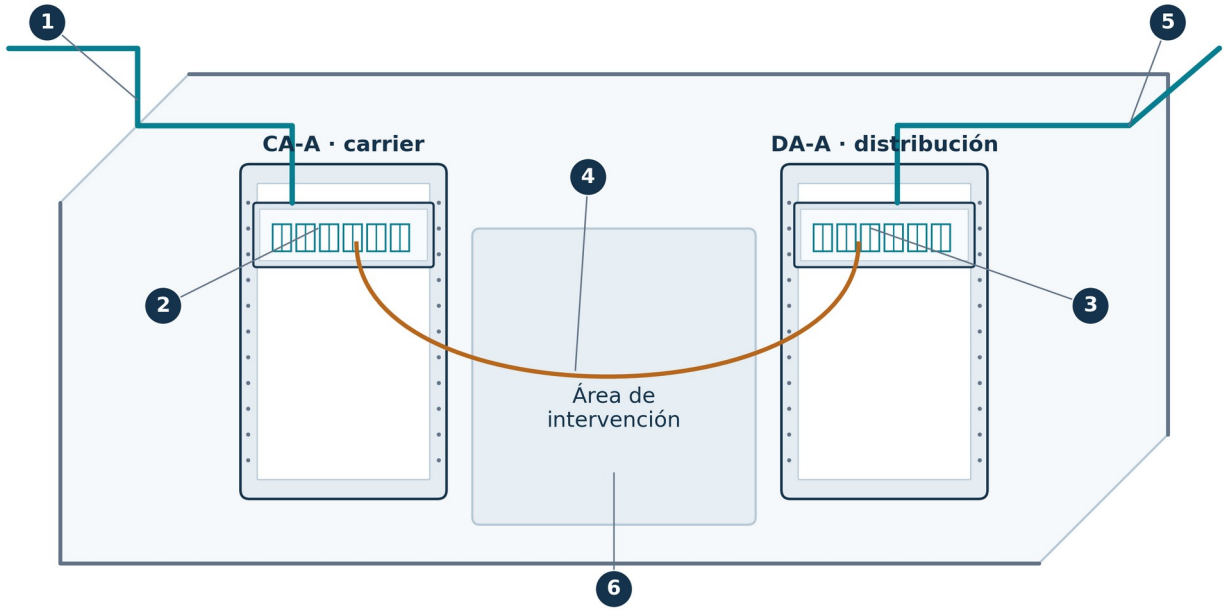
Clave: 1 Entrada A y su cámara · 2 Entrada B y su cámara · 3 Canalizaciones por recorrido · 4 MMR-A y MMR-B · 5 Bandejas a los edificios · 6 Edificios E01 a E03

Lectura: La vista reúne dos entradas, sus canalizaciones y tres edificios del caso Faro. El dibujo permite seguir cada dominio hasta el punto de distribución; la independencia real se demuestra con trazados ejecutados y riesgos compartidos. Las proximidades gráficas no representan distancias.

Comprobación: Seguir A y B con sus identificadores. Marcar cámaras, cruces, puentes, penetraciones, recintos y proveedores que puedan ser comunes. Conciliar cada tramo con el plano y la matriz SRLG; una separación dibujada no cierra esa comprobación.

Consulta: capítulos 16, 19, 81.

M.2 MMR con racks y áreas de intervención



Esquema didáctico sin escala · Colores e identificadores conservan el alcance del ejemplo

Figura M.2. MMR con racks y áreas de intervención. Elaboración propia; esquema didáctico sin escala.

Clave: 1 Llegada de cable exterior · 2 ODF del carrier en CA-A · 3 ODF de distribución en DA-A · 4 Latiguillo de cross connect · 5 Salida de troncales a sala · 6 Área de acceso a equipos

Lectura: La MMR se representa abierta para reconocer entradas de cable, caras de panel y recorrido de interconexión. El equipo activo puede estar en otro recinto. El plano real define accesos, canalizaciones y condiciones ambientales según los componentes elegidos.

Comprobación: Localizar ambos extremos de la orden XC-A-0001, la ruta del latiguillo y el punto de salida a la sala. Verificar que una intervención permite acceder al equipo y al guiado sin apoyar carga sobre fibras ni desplazar conexiones vecinas.

Consulta: capítulos 20, 21.

M.3 Rack de interconexión por delante y por detrás

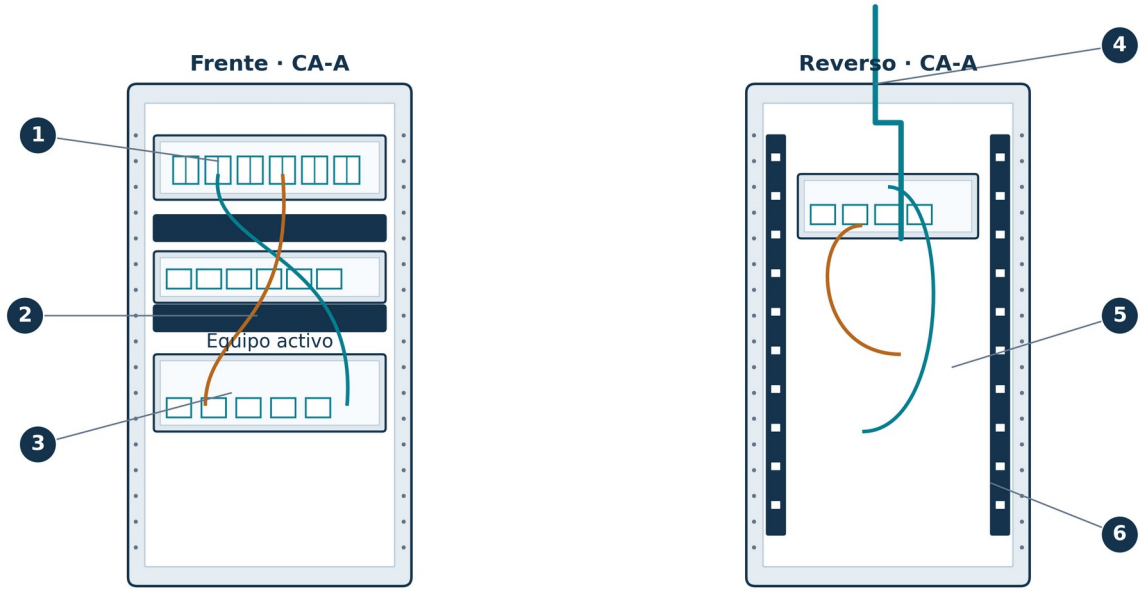


Figura M.3. Rack de interconexión por delante y por detrás. Elaboración propia; esquema didáctico sin escala.

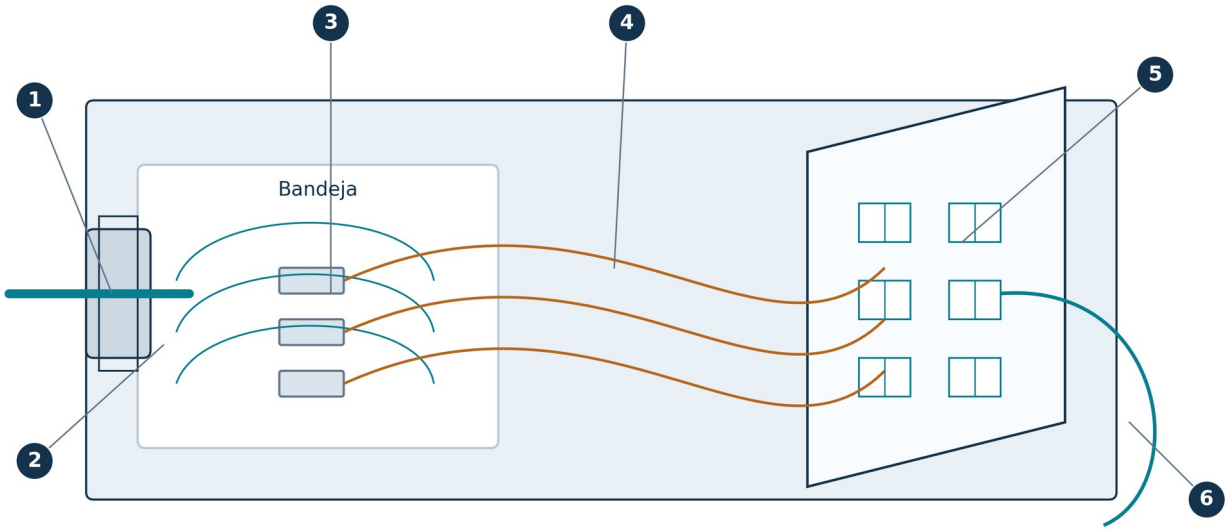
Clave: 1 Paneles ópticos frontales · 2 Guiado horizontal · 3 Equipo activo del ejemplo · 4 Entrada y sujeción posterior · 5 Guiado vertical y reserva · 6 Alimentación posterior identificada

Lectura: Las dos caras pertenecen al mismo rack conceptual. Los conectores de servicio se relacionan con el cableado posterior y con la reserva organizada. Las posiciones y tamaños son ilustrativos; la elevación aprobada debe proceder de los equipos y accesorios seleccionados.

Comprobación: Comprobar orientación, cara y puerto antes de tocar un latiguillo. Identificar alimentación y gestión por separado de los puertos de servicio. Revisar accesibilidad, radios de curvatura del producto, sujeción y posibilidad de retirar un módulo.

Consulta: capítulos 20, 23, 27.

M.4 Interior de un ODF con empalmes y adaptadores



Esquema didáctico sin escala · Colores e identificadores conservan el alcance del ejemplo

Figura M.4. Interior de un ODF con empalmes y adaptadores. Elaboración propia; esquema didáctico sin escala.

Clave: 1 Cable y elemento de sujeción · 2 Entrada protegida al alojamiento · 3 Bandeja de empalmes · 4 Pigtails del lado posterior · 5 Placa de adaptadores · 6 Latiguillos del lado frontal

Lectura: La vista separa la protección del cable, la gestión de fibras y la interfaz frontal. Solo se representa una parte de las fibras para hacer visible la continuidad. Los detalles de fijación, preparación y radio admisible se toman de las instrucciones del producto.

Comprobación: Relacionar fibra, empalme, pigtail, adaptador y puerto frontal. Confirmar qué piezas pueden moverse durante la apertura. Conservar identificación y reserva sin forzar el cierre; el recuento del plano debe incluir las fibras no dibujadas.

Consulta: capítulos 24, 25, 40.

M.5 Casete multifibra con salida a LC dúplex

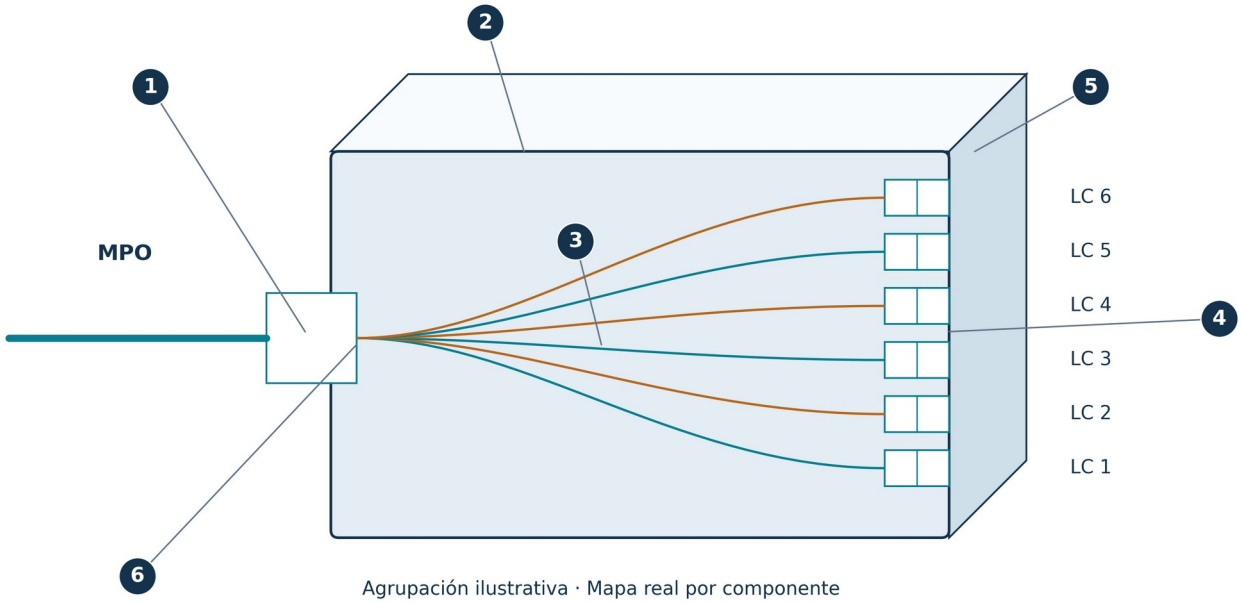


Figura M.5. Casete multifibra con salida a LC dúplex. Elaboración propia; esquema didáctico sin escala.

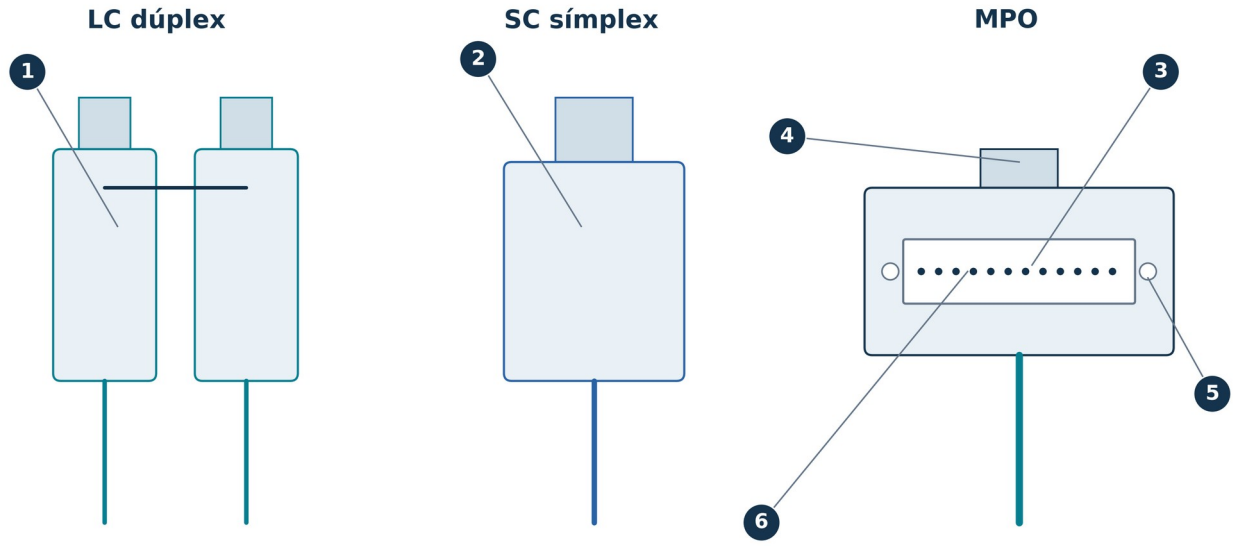
Clave: 1 Interfaz MPO del ejemplo · 2 Casete y sujeción · 3 Fibras internas representativas · 4 Seis interfaces LC dúplex · 5 Identificación de frente y reverso · 6 Mapa completo del conjunto

Lectura: Se ilustra un casete de transición de doce fibras a seis interfaces LC dúplex. La figura muestra agrupación física y acceso, sin asignar una polaridad universal. El mapa real depende de casetes, adaptadores, troncales y latiguillos utilizados. [231]

Comprobación: Registrar referencias y orientación de cada pieza. Verificar el mapa completo de todas las posiciones y su correspondencia Tx/Rx en la aplicación. Confirmar pines, llaves y pulido antes del acople; no deducir compatibilidad solo por la forma del conector.

Consulta: capítulos 25, 40, 46.

M.6 Reconocimiento de conectores y caras de acople



Esquema didáctico sin escala · Colores e identificadores conservan el alcance del ejemplo

Figura M.6. Reconocimiento de conectores y caras de acople. Elaboración propia; esquema didáctico sin escala.

Clave: 1 LC dúplex y sus dos fibras · 2 SC símplex del ejemplo · 3 MPO con una fila ilustrada · 4 Llave y orientación de acople · 5 Guía o pines según variante · 6 Zona que se inspecciona

Lectura: Los cuerpos y caras se dibujan como ayudas de reconocimiento, sin dimensiones de fabricación. La familia del conector no determina por sí sola el pulido, la fibra, la asignación óptica o la compatibilidad. MTP es una marca de una implementación MPO. [231]

Comprobación: Identificar familia, variante y especificación de ambos extremos. Aplicar el procedimiento de inspección y limpieza apropiado. Confirmar ausencia de potencia y condiciones de intervención antes de observar o desacoplar una conexión; no mirar una fibra mediante observación directa.

Consulta: capítulos 24, 25, 40.

M.7 Cross connect seguida de puerto a puerto

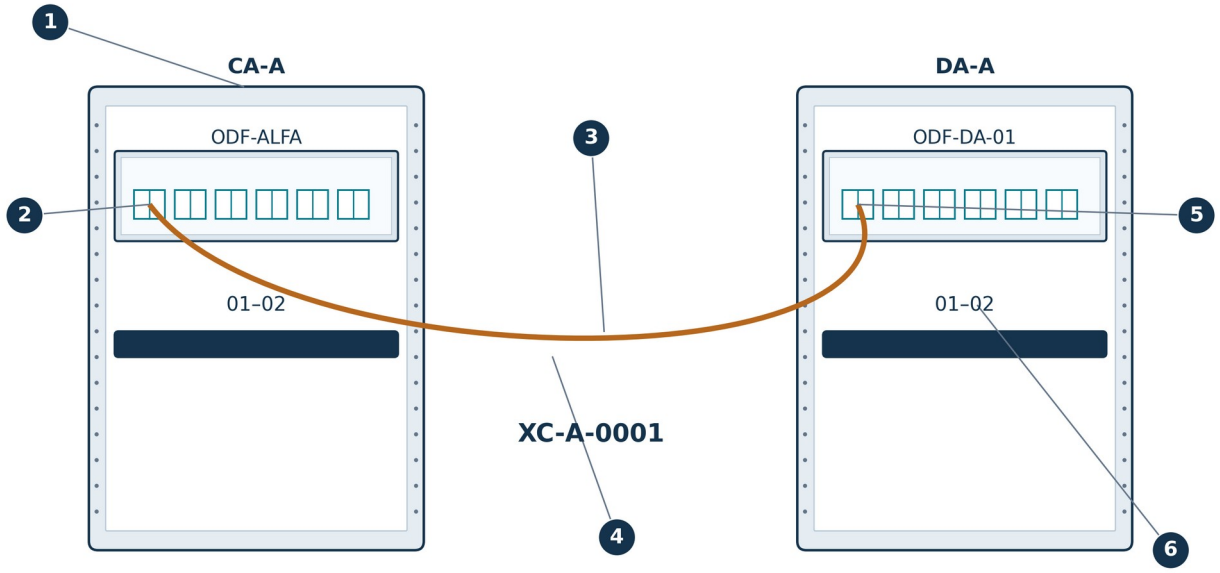


Figura M.7. Cross connect seguida de puerto a puerto. Elaboración propia; esquema didáctico sin escala.

Clave: 1 Rack CA-A del carrier · 2 ODF-ALFA puertos 01 y 02 · 3 Latiguillo de la orden XC-A-0001 · 4 Guías y recorrido asignado · 5 ODF-DA-01 puertos 01 y 02 · 6 Registro de identidad y prueba

Lectura: Los dos ODF se muestran de frente con sus posiciones de entrega. El trazado visible es una representación del latiguillo; no indica longitud ni radio de curvatura aprobados. Los identificadores coinciden con la cadena de puertos del acceso A de Faro.

Comprobación: Conciliar orden, extremos, disponibilidad y recorrido antes de instalar. Inspeccionar, conectar, probar y actualizar el inventario. Mantener separado el cierre de la instalación física de la habilitación y aceptación del servicio del cliente.

Consulta: capítulos 23, 26, 27.

M.8 Terminación de una troncal entre MMR y sala

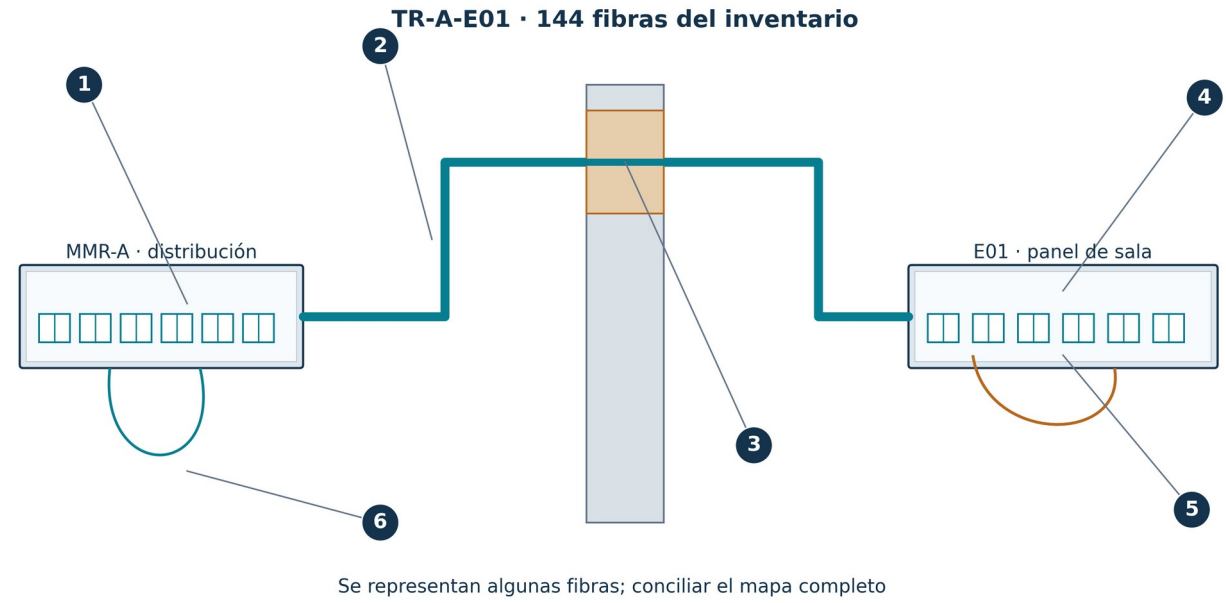


Figura M.8. Terminación de una troncal entre MMR y sala. Elaboración propia; esquema didáctico sin escala.

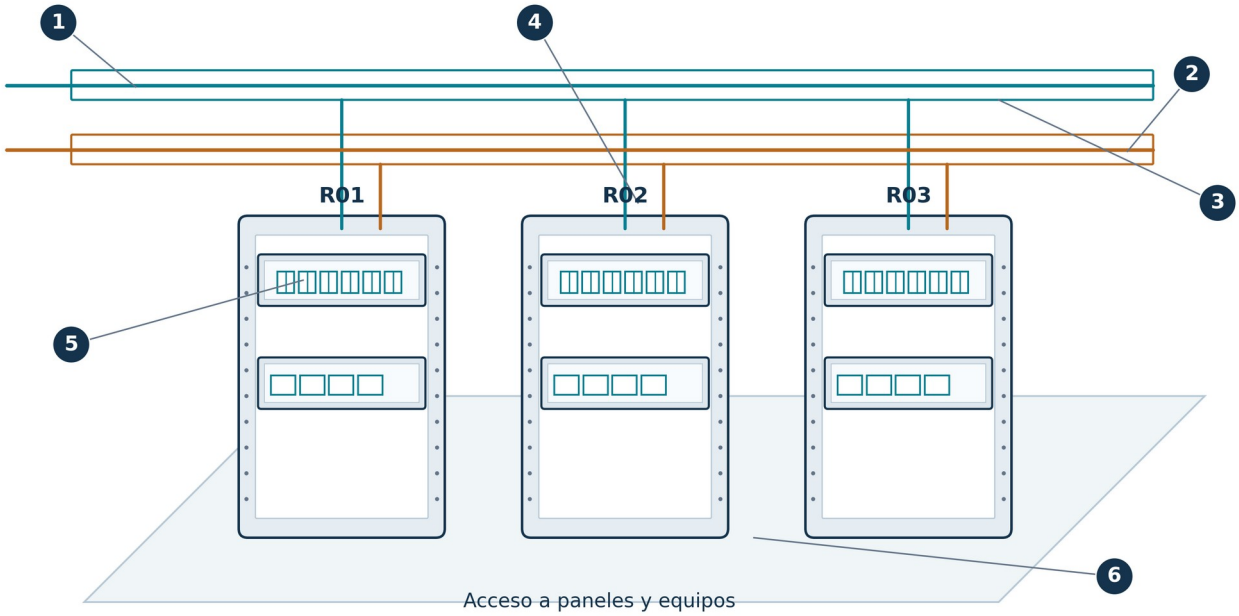
Clave: 1 Salida de troncal en la MMR · 2 Cable y protección del recorrido · 3 Penetración identificada · 4 Terminación en sala blanca · 5 Panel del rack de destino · 6 Reserva y fibras disponibles

Lectura: La troncal TR-A-E01 se sigue desde la distribución de la MMR hasta el edificio E01. El dibujo presenta algunas fibras y componentes de terminación; el inventario del caso mantiene 144 fibras instaladas por troncal. No se prescribe una construcción interna del cable.

Comprobación: Relacionar tramo, penetración, terminación, panel y fibras de servicio y reserva. Verificar continuidad de protección y condiciones de sellado del proyecto. Conciliar cobertura de las pruebas con las 144 fibras y los sentidos y bandas requeridos.

Consulta: capítulos 22, 24, 46, 81.

M.9 Sala blanca con bandejas y puntos de distribución



Esquema didáctico sin escala · Colores e identificadores conservan el alcance del ejemplo

Figura M.9. Sala blanca con bandejas y puntos de distribución. Elaboración propia; esquema didáctico sin escala.

Clave: 1 Llegada de distribución A · 2 Llegada de distribución B · 3 Bandejas identificadas · 4 Bajada protegida al rack · 5 Paneles de los racks · 6 Áreas de acceso e intervención

Lectura: La vista abierta permite reconocer dos recorridos de distribución sobre tres racks representativos. Las separaciones, alturas, cargas y espacios libres deben definirse en el diseño real. La asignación de letras conserva identidad del dominio y no acredita independencia física.

Comprobación: Seguir ambas rutas hasta cada panel. Localizar cruces y recursos comunes, revisar la ocupación futura y confirmar acceso para cambios. Coordinar las bandejas con energía, protección contra incendios y condiciones ambientales, usando el diseño aprobado.

Consulta: capítulos 19, 22, 23.

M.10 Rack de cliente con red de servicio y gestión

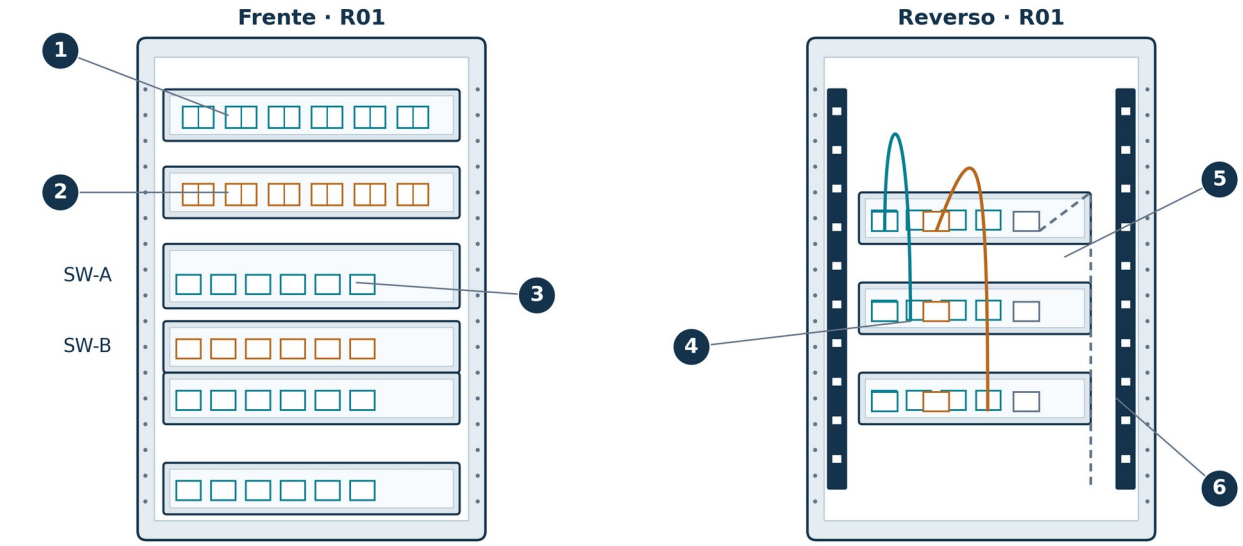


Figura M.10. Rack de cliente con red de servicio y gestión. Elaboración propia; esquema didáctico sin escala.

Clave: 1 Panel óptico de entrada A · 2 Panel óptico de entrada B · 3 Switches de servicio del ejemplo · 4 NIC de los servidores · 5 Red de gestión identificada · 6 Alimentación posterior del rack

Lectura: Las vistas frontal y posterior relacionan panel, switch, servidor y gestión. La arquitectura del cliente puede distribuir estas funciones en otros racks. No se asigna una velocidad ni una independencia eléctrica o de control por la sola presencia de dos equipos.

Comprobación: Conciliar puerto, módulo, latiguillo y NIC, junto con su configuración. Verificar el camino de gestión y sus dependencias. Durante una contingencia, comprobar trabajo útil del cliente y capacidad restante; dos conexiones físicas no bastan para demostrarlo.

Consulta: capítulos 23, 30, 32, 69.

M.11 Equipos de demarcación y transporte óptico

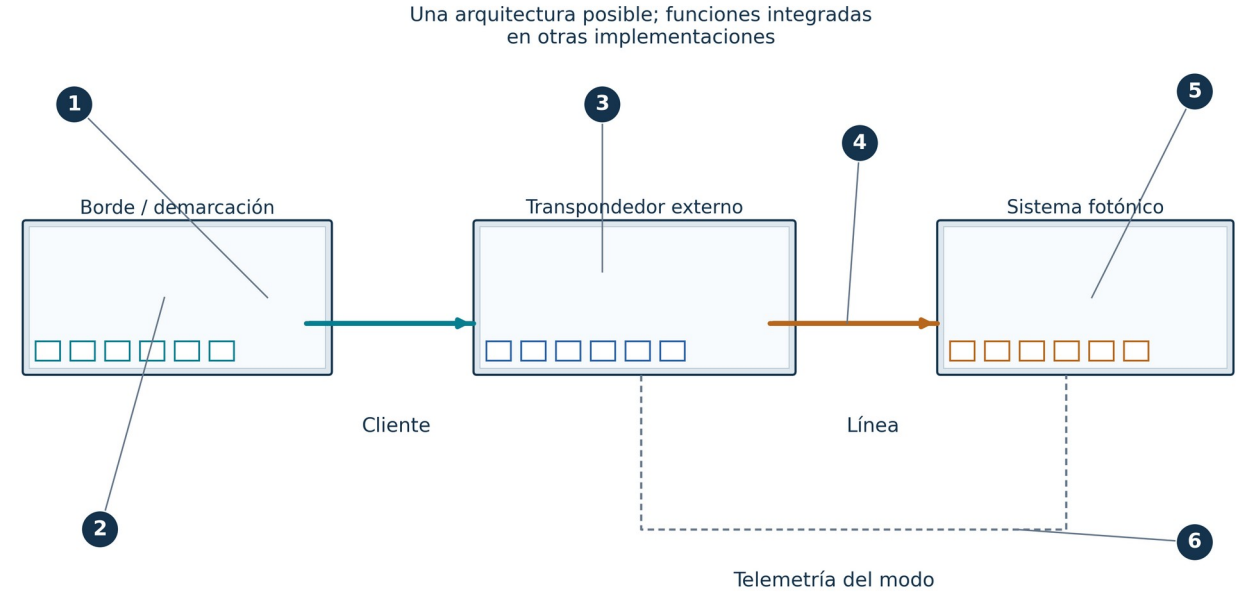


Figura M.11. Equipos de demarcación y transporte óptico. Elaboración propia; esquema didáctico sin escala.

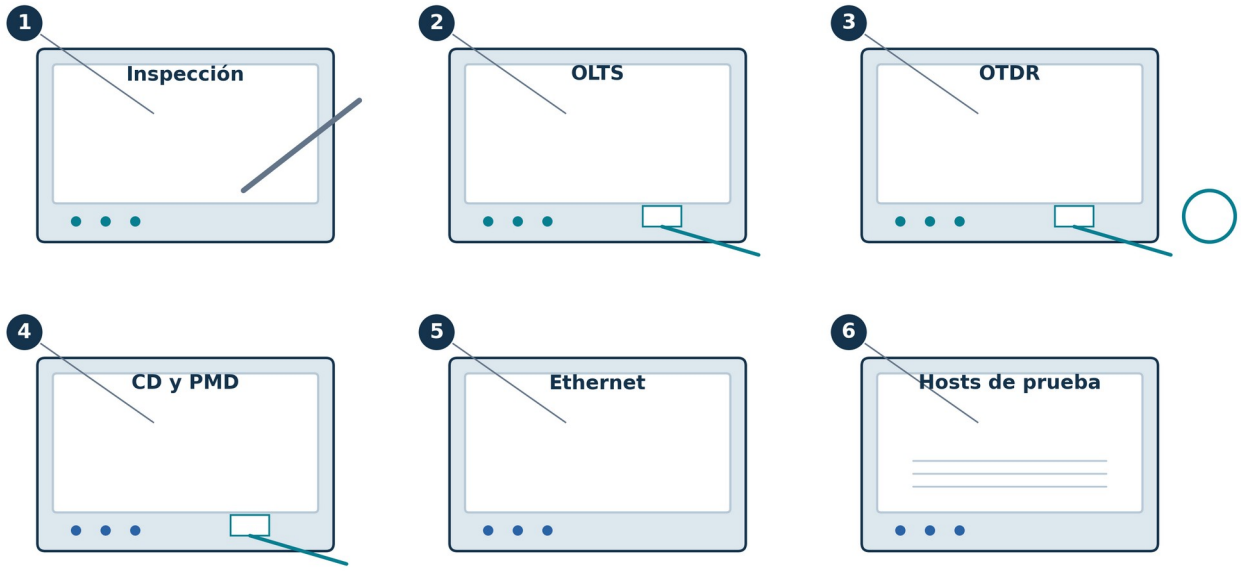
Clave: 1 Interfaz cliente y su demarcación · 2 Equipo de borde del ejemplo · 3 Transpondedor externo ilustrado · 4 Interfaz de línea y FEC · 5 Sistema fotónico del recorrido · 6 Telemetría e identificación del modo

Lectura: Se representa una arquitectura posible con transpondedor externo. Otras implementaciones integran funciones o utilizan otra adaptación. Los frentes permiten reconocer puertos cliente, puertos de línea y supervisión, sin asociarlos a un fabricante ni a una prestación concreta.

Comprobación: Relacionar cada puerto con módulo, modo, FEC, versión y extremo remoto. Confirmar presupuesto y compatibilidad del recorrido. Distinguir lo observado en la interfaz cliente de los contadores y magnitudes que el equipo obtiene dentro del sistema.

Consulta: capítulos 29, 30, 50, 51, 54.

M.12 Instrumentos y extremos de un banco de pruebas



Esquema didáctico sin escala · Colores e identificadores conservan el alcance del ejemplo

Figura M.12. Instrumentos y extremos de un banco de pruebas. Elaboración propia; esquema didáctico sin escala.

Clave: 1 Inspección de conectores · 2 Fuente y medidor OLTS · 3 Puerto y bobina de OTDR · 4 Analizador de dispersión · 5 Analizadores de tráfico · 6 Hosts y aplicación de prueba

Lectura: Los instrumentos se representan por su función y sus interfaces. Las pantallas son símbolos de observación; no reproducen resultados ni un menú de fabricante. Antes de medir se confirma qué magnitud, rango, accesorio y archivo entrega cada equipo.

Comprobación: Preparar identidad del objeto, montaje, versiones y situación de calibración aplicable. Identificar qué datos provienen del instrumento y cuáles se calculan después. Conservar configuración y originales para que otra persona pueda repetir la interpretación.

Consulta: capítulos 39, 40, 49, 59.

M.13 Montaje de OLTS con referencia y medida

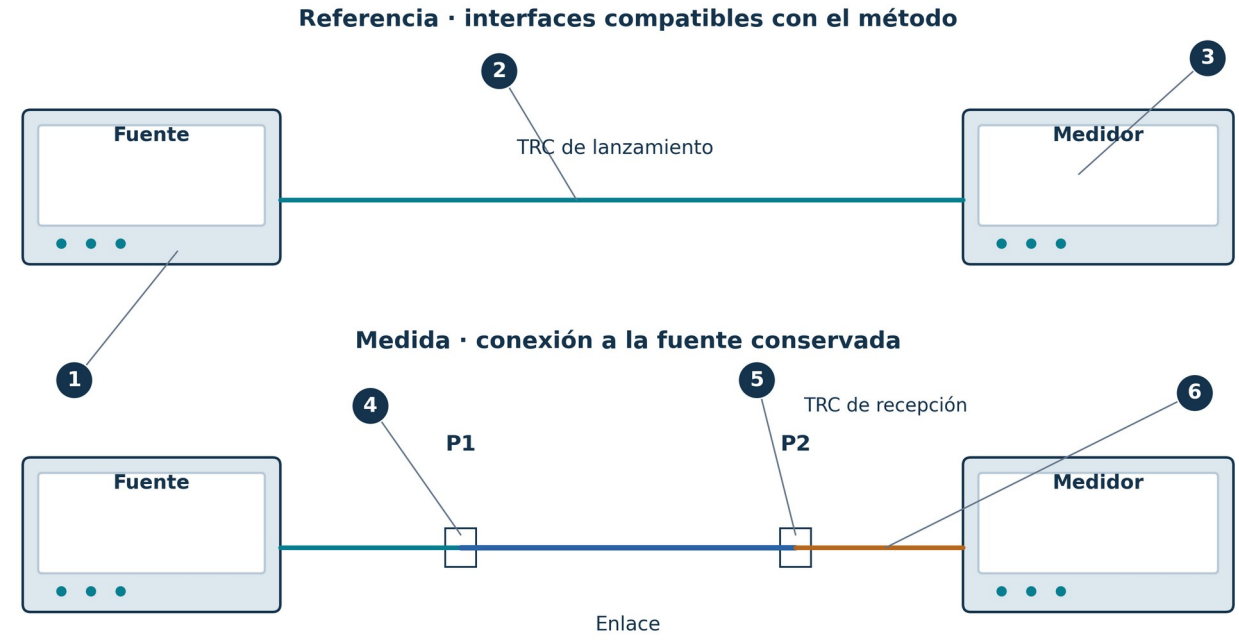


Figura M.13. Montaje de OLTS con referencia y medida. Elaboración propia; esquema didáctico sin escala.

Clave: 1 Fuente mantenida conectada · 2 TRC de lanzamiento identificado · 3 Medidor durante la referencia · 4 Plano P1 del enlace · 5 Plano P2 del enlace · 6 TRC de recepción previamente verificado

Lectura: El montaje ilustra el método de referencia de un latiguillo para interfaces compatibles. La fila superior prepara la referencia; la inferior inserta el enlace y el latiguillo de recepción. La conexión a la fuente se mantiene. El método adoptado fija las conexiones incluidas y las condiciones de lanzamiento. [228]

1. Aislar e identificar el objeto; inspeccionar y preparar interfaces y latiguillos adecuados.

2. Establecer y registrar la referencia por banda; comprobar el latiguillo de recepción según el procedimiento del equipo.

3. Insertar el enlace entre P1 y P2 sin cambiar la conexión de la fuente. Medir las fibras, bandas y sentidos previstos.

4. Comprobar la referencia al cierre; conservar configuración, datos originales y regla de decisión.

Comprobación: Ejemplo Faro: M = 2,16 dB, U = 0,12 dB y límite 2,20 dB producen un resultado indeterminado con la regla del capítulo 39. El montaje no convierte ese ejemplo en una adquisición real.

Consulta: capítulos 39, 40, 41, 46.

M.14 Montaje de OTDR en los dos sentidos

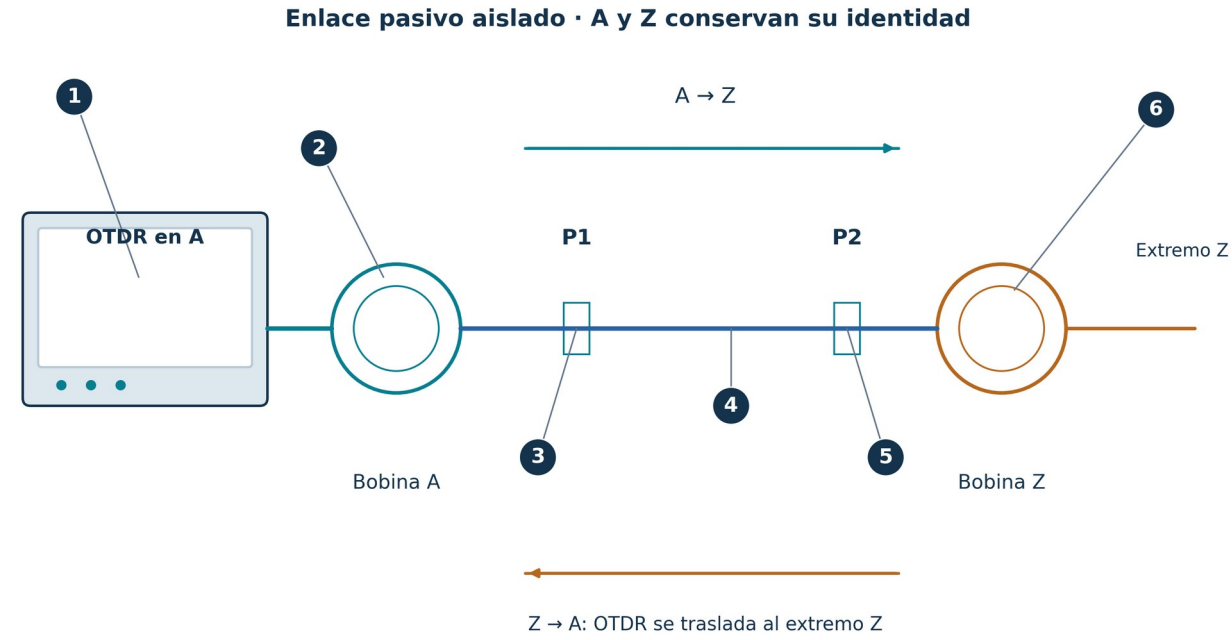


Figura M.14. Montaje de OTDR en los dos sentidos. Elaboración propia; esquema didáctico sin escala.

Clave: 1 OTDR en el extremo de adquisición · 2 Bobina del extremo A · 3 Conexión inicial P1 · 4 Fibra bajo prueba · 5 Conexión final P2 · 6 Bobina del extremo Z

Lectura: La vista conserva bobinas en ambos extremos del enlace pasivo aislado. Al cambiar de sentido se identifica la función de lanzamiento y recepción de cada bobina. Su longitud y las configuraciones se seleccionan para observar las conexiones previstas con resolución suficiente. [229]

1. Identificar P1 y P2 y el estado sin servicio del alcance autorizado. Inspeccionar las conexiones del montaje.

2. Registrar banda, alcance, índice de grupo, pulso, promedio y compensación de bobinas. Adquirir A a Z.

3. Adquirir Z a A conservando identificados enlace y conexiones. Emparejar eventos por distancia y contexto.

4. Conservar signos y trazas originales. Separar eventos no resueltos antes de promediar pérdidas del mismo evento.

Comprobación: Ejemplo Faro: el evento EMP-01 informa −0,15 dB y +0,35 dB; su promedio algebraico es +0,10 dB. Las bobinas de 150 m del ejercicio no son una longitud universal válida para cualquier pulso o equipo.

Consulta: capítulos 42, 43.

M.15 Montaje de caracterización de CD y PMD

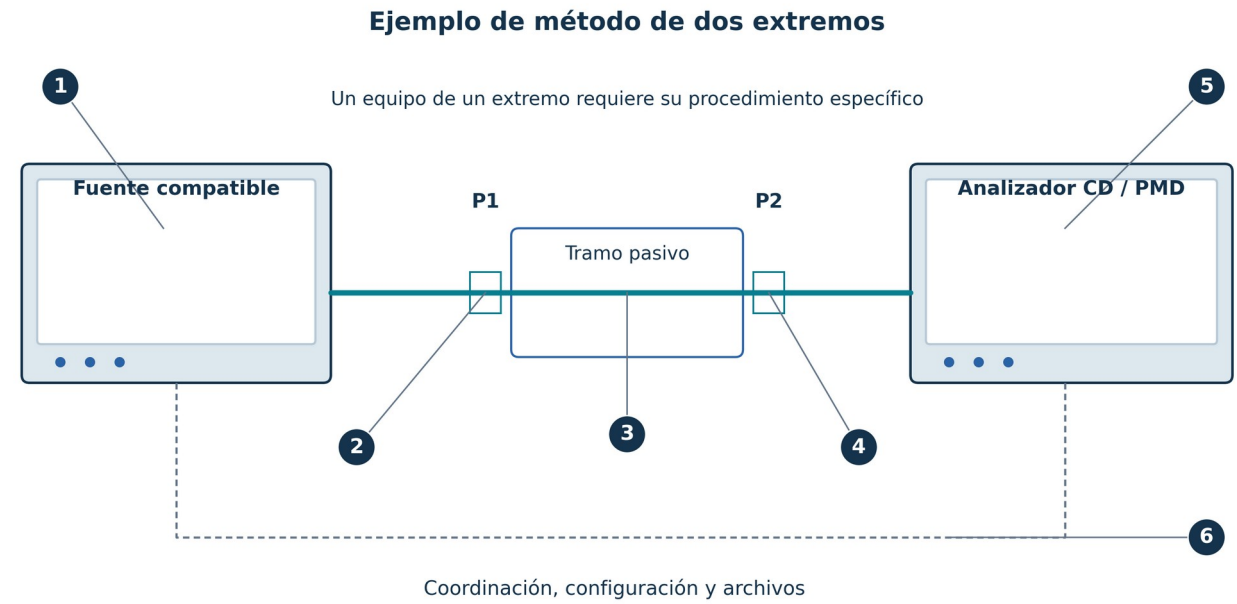


Figura M.15. Montaje de caracterización de CD y PMD. Elaboración propia; esquema didáctico sin escala.

Clave: 1 Fuente compatible con el método · 2 Interfaz inicial identificada · 3 Tramo pasivo caracterizado · 4 Interfaz final identificada · 5 Analizador y método seleccionados · 6 Registro de banda longitud y resultados

Lectura: Se ilustra una solución de dos extremos, con fuente y analizador compatibles. Existen métodos e instrumentos de un solo extremo que requieren su montaje propio. La configuración debe corresponder al alcance y al parámetro que se pretende informar. [230]

1. Verificar arquitectura, longitud, banda, acceso y condición del tramo; confirmar el método soportado.

2. Registrar equipos, accesorios, referencia o verificación requerida y configuración de adquisición.

3. Obtener CD y PMD por los métodos adoptados; conservar unidades, banda, repeticiones e incertidumbre aplicable.

4. Comparar con las tolerancias del modo de transmisión previsto, incluyendo las reservas y cambios considerados.

Comprobación: En el modelo uniforme de Faro, D = 17 ps/(nm·km) y L = 80 km dan CD = 1360 ps/nm a la longitud de onda adoptada. La PMD informada y la DGD observada conservan sus definiciones; no se intercambian con un límite universal.

Consulta: capítulos 44, 45, 54.

M.16 Montaje de transmisión y observación de BER y FEC

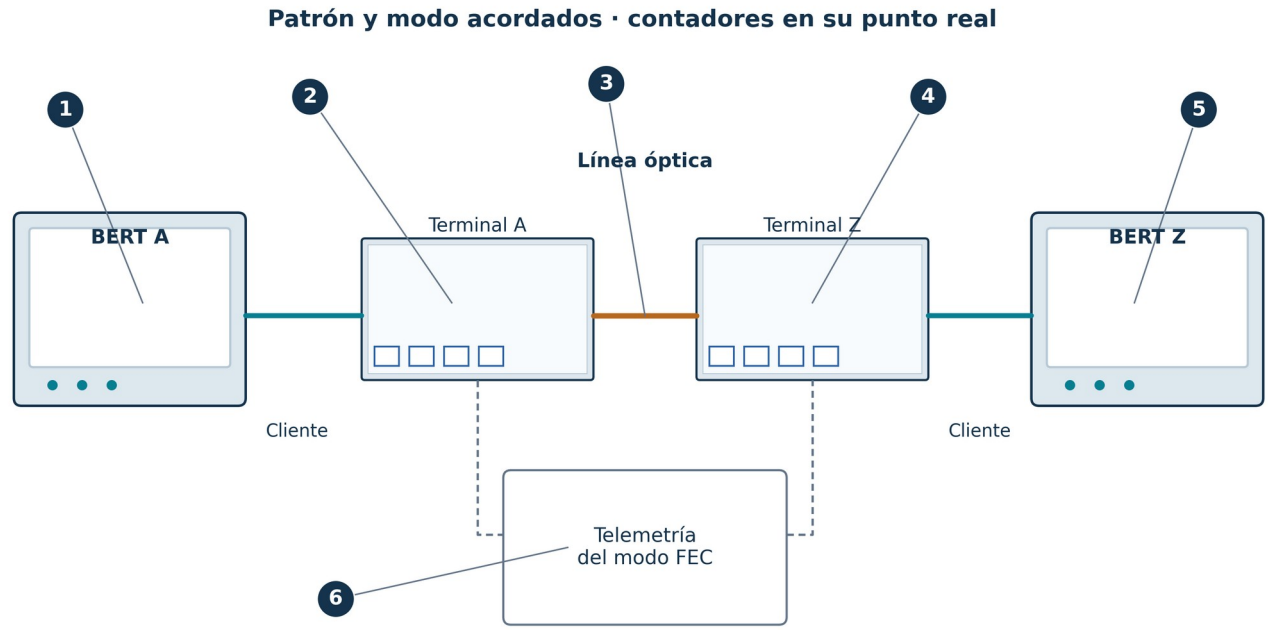


Figura M.16. Montaje de transmisión y observación de BER y FEC. Elaboración propia; esquema didáctico sin escala.

Clave: 1 Generador o analizador cliente A · 2 Terminal y modo en A · 3 Canal óptico del sistema · 4 Terminal y modo en Z · 5 Analizador cliente Z · 6 Contadores y telemetría de FEC

Lectura: Los extremos de prueba cliente se distinguen de los puntos internos de observación del terminal. Los indicadores pre-FEC y post-FEC se interpretan en el modo y la capa que los generan; una lectura cliente no demuestra por sí sola todas las magnitudes internas. [232]

1. Fijar interfaces, modo, FEC, versión, patrón o tráfico y criterio; comprobar compatibilidad entre extremos.

2. Registrar potencia y las magnitudes ópticas disponibles sin asumir que sustituyen la prueba de errores.

3. Medir sobre intervalos válidos y conservar bits, errores, estados de sincronismo y alarmas junto con la telemetría.

4. Aplicar el criterio y el tratamiento estadístico acordados; conservar también degradaciones y repeticiones.

Comprobación: Ejemplo del capítulo 50: 100 Gb/s durante 30 s aportan 3×10^{12} bits válidos. Con cero errores y el modelo binomial adoptado, la cota unilateral al 95 % es aproximadamente $9{,}99 \times 10^{-13}$. No equivale a BER verdadera nula.

Consulta: capítulos 29, 50, 51, 54.

M.17 Montaje de activación Ethernet con clases simultáneas

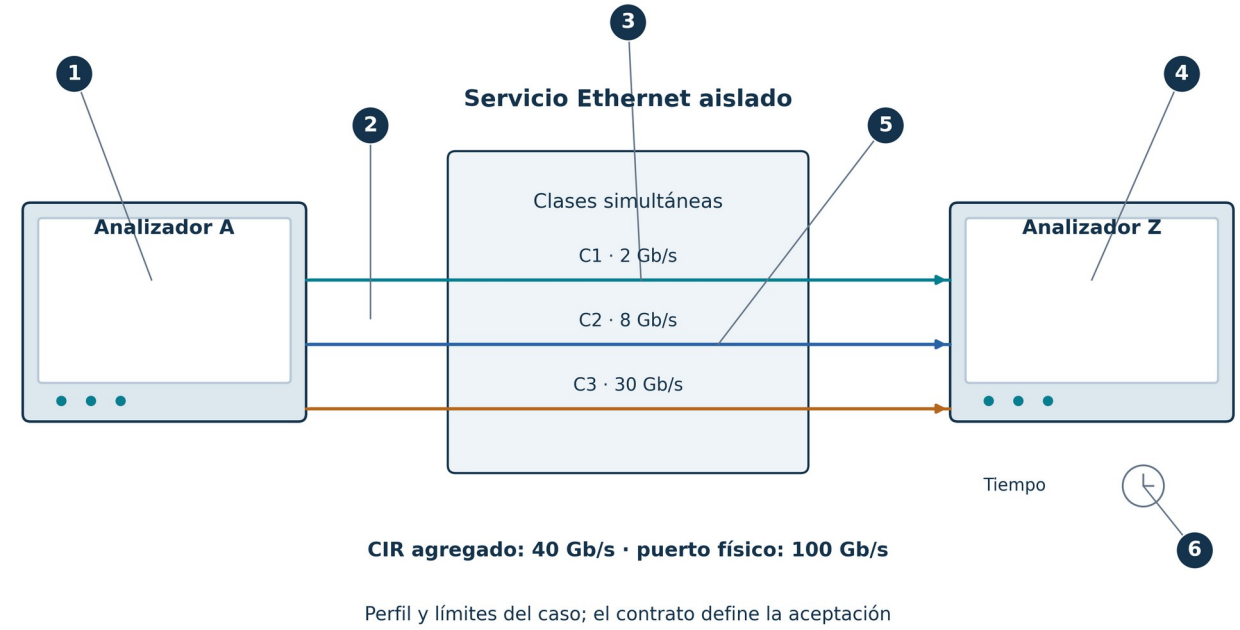


Figura M.17. Montaje de activación Ethernet con clases simultáneas. Elaboración propia; esquema didáctico sin escala.

Clave: 1 Analizador del extremo A · 2 Demarcación y perfil cliente · 3 Servicio fuera de producción del ensayo · 4 Analizador del extremo Z · 5 Clases ofrecidas simultáneamente · 6 Referencia temporal según la métrica

Lectura: El montaje prepara una activación fuera de servicio con extremos y perfil acordados. La metodología y la duración completas proceden de la edición adoptada y del contrato. El escenario de Faro ilustra clases C1, C2 y C3 sobre un acceso de 40 Gb/s CIR y 100 Gb/s físico. [97]

1. Confirmar clasificación, VLAN, MTU, tasas, tamaños, sentidos, bytes contados y límites antes de generar tráfico.
2. Comprobar la configuración y ejecutar las fases del método adoptado, conservando el perfil utilizado.
3. Evaluar las clases simultáneas y las métricas de pérdida y retardo definidas, con reloj válido cuando corresponda.
4. Repetir los alcances corregidos y relacionar resultados con configuración y acta.

Comprobación: En el ejemplo corregido, los máximos de retardo son 40,1; 41,4 y 43,2 ms frente a 45 ms del proyecto. Ese resultado de clases no cierra la pérdida IP ni los riesgos compartidos pendientes del caso.

Consulta: capítulos 49, 52, 55.

M.18 Montaje de desempeño IP TCP y aplicación

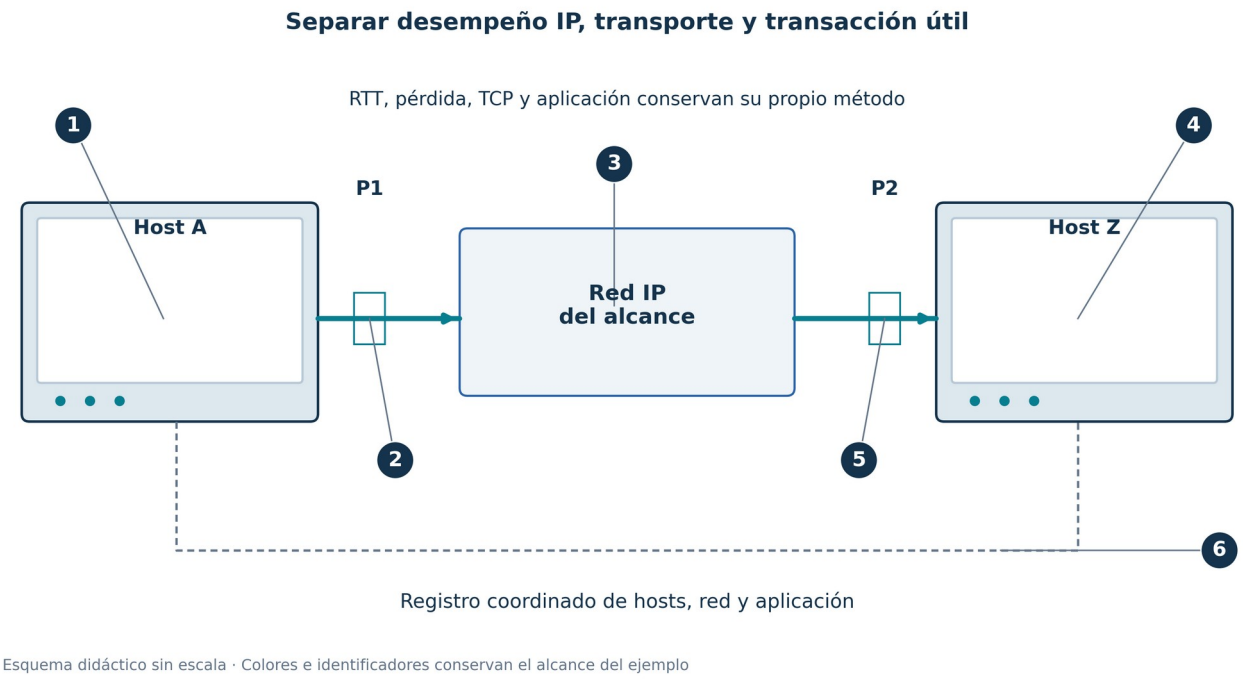


Figura M.18. Montaje de desempeño IP TCP y aplicación. Elaboración propia; esquema didáctico sin escala.

Clave: 1 Host emisor y sus recursos · 2 NIC y puerto de prueba · 3 Red y perfil observados · 4 Host receptor y sus recursos · 5 Observación de paquetes y reloj · 6 Transacción y datos de aplicación

Lectura: El banco separa observación IP, transferencia TCP y validación de aplicación. Se conservan recursos de host, configuración de los extremos y contadores de red. Las herramientas y versiones se eligen para el ensayo; una transferencia TCP no verifica por sí sola una transacción completa. [8, 10, 11, 224]

1. Definir extremos, ruta, perfil, tamaño y población; verificar NIC, CPU, memoria y almacenamiento.
2. Medir pérdida y retardo con su definición y población; conservar respuestas ausentes por separado.
3. Evaluar TCP y datos útiles con ventanas, RTT y concurrencia documentados; observar ambos hosts.
4. Ejecutar la transacción de aplicación y comprobar identidad, contenido, tiempo e integridad requeridos.

Comprobación: Para 40 Gb/s y RTT de 80 ms, el BDP decimal es 400 MB. Una ventana efectiva de 16 MB impone la cota ideal W/RTT de 1,6 Gb/s. Es una cota de enseñanza; el trabajo útil requiere su propia verificación.

Consulta: capítulos 32, 56, 57, 58, 60.

Bibliografía y fuentes

La numeración es única para todo el libro. Cada registro identifica el libro, capítulo, norma o recurso consultado. Las páginas web dinámicas incorporan la fecha de comprobación bibliográfica de esta edición; esa comprobación no equivale a validar cada cláusula ni a adoptar una especificación de producto por contrato. El kit conserva el tipo de acceso y el alcance de la revisión. Las versiones de software y configuración se registran además para cada ensayo.

[1] Geng H (ed.). Data Center Handbook: Plan, Design, Build, and Operations of a Smart Data Center. Segunda edición. Wiley, 2021. DOI del libro: 10.1002/9781119597537. Se consulta especialmente el capítulo introductorio.

https://doi.org/10.1002/9781119597537

[2] Mell P y Grance T. The NIST Definition of Cloud Computing. NIST SP 800-145, 2011.

https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-145

[3] Equinix. Colocation Products and Services. Documentación del operador. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://docs.equinix.com/colocation/

[4] ETSI. Multi-access Edge Computing. Descripción del grupo y sus áreas de trabajo. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.etsi.org/technical-groups/mec/

[5] Telxius. Marea. Descripción de conexiones entre aterrizaje y data centers. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://telxius.com/marea/

[6] Equinix. Cross Connect. Documentación del producto. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://docs.equinix.com/cross-connect/

[7] Almes G, Kalidindi S y Zekauskas M. A Round-trip Delay Metric for IPPM. RFC 2681, 1999.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2681.html

[8] Constantine B, Forget G, Geib R y Schrage R. Framework for TCP Throughput Testing. RFC 6349, documento informativo, 2011.

https://www.rfc-editor.org/info/rfc6349/

[9] NVIDIA. NVIDIA DGX SuperPOD B200 Reference Architecture. Network Fabrics. Documentación del fabricante. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://docs.nvidia.com/dgx-superpod/reference-architecture-scalable-infrastructure-b200/latest/network-fabrics.html

[10] Almes G, Kalidindi S, Zekauskas M y Morton A (ed.). A One-Way Delay Metric for IP Performance Metrics IPPM. RFC 7679, enero de 2016.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7679.html

[11] Morton A y Claise B. Packet Delay Variation Applicability Statement. RFC 5481, documento informativo, marzo de 2009.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5481.html

[12] Almes G, Kalidindi S, Zekauskas M y Morton A (ed.). A One-Way Loss Metric for IP Performance Metrics IPPM. RFC 7680, enero de 2016.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7680.html

[13] Swanson M, Bowen P, Phillips A, Gallup D y Lynes D. Contingency Planning Guide for Federal Information Systems. NIST SP 800-34 Rev. 1, 2010.

https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-34r1

[14] Jasinska E, Hilliard N, Raszuk R y Bakker N. Internet Exchange BGP Route Server. RFC 7947, septiembre de 2016.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7947.html

[15] Internet Society. Dissecting the Cost of Peering. Estudio sobre peering y tránsito IP, 2026. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.internetsociety.org/resources/doc/2026/dissecting-the-cost-of-peering/

[16] Internet Exchange Federation. Definition of an Internet Exchange Point. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.ix-f.net/ixp-definition/

[17] DE-CIX. GlobePEER Remote. Descripción del servicio de peering remoto. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.de-cix.net/en/services/globepeer-remote

[18] Netflix. Open Connect. Descripción de interconexión y despliegues de contenido. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://openconnect.netflix.com/

[19] Netflix. Peering With Open Connect. Requisitos y orientaciones de comprobación. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://openconnect.netflix.com/en/peering/

[20] Amazon Web Services. What is Direct Connect. AWS Direct Connect User Guide. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://docs.aws.amazon.com/directconnect/latest/UserGuide/Welcome.html

[21] Microsoft. ExpressRoute peering locations and connectivity partners. Microsoft Learn. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://learn.microsoft.com/en-us/azure/expressroute/expressroute-locations-providers

[22] Equinix. Equinix Fabric. Documentación de puertos y conexiones virtuales. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://docs.equinix.com/fabric/

[23] Amazon Web Services. Encryption in AWS Direct Connect. AWS Direct Connect User Guide. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://docs.aws.amazon.com/directconnect/latest/UserGuide/encryption-in-transit.html

[24] DE-CIX. How to start peering at DE-CIX. Procedimiento de incorporación y pruebas. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://docs.de-cix.net/article/n3i1zu0abx-how-to-implement-peering-services

[25] PeeringDB. Base de datos de interconexión mantenida por sus usuarios. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.peeringdb.com/

[26] Comisión Europea. PM² Project Management. Modelo de gobernanza y ciclo de vida de proyectos. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://pm2.europa.eu/pm2-methodologies/pm2-project-management_en

[27] Pascoe C, Quinn S y Scarfone K. The NIST Cybersecurity Framework CSF 2.0. NIST CSWP 29, 2024. Categorías GV.RR y GV.SC.

https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.29

[28] Uptime Institute. Criterios de Management and Operations de centros de datos. Organización, dotación, formación y planificación. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://es.uptimeinstitute.com/professional-services/management-operations/mando-criteria

[29] Johnson A, Dempsey K, Ross R, Gupta S y Bailey D. Guide for Security-Focused Configuration Management of Information Systems. NIST SP 800-128, 2011, con actualizaciones de octubre de 2019.

https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-128

[30] Mace J, Oertel J, Thorne S y Chakrabarti A, con Ma J y Yang J. Incident Response. The Site Reliability Workbook. Google, 2018. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://sre.google/workbook/incident-response/

[31] Equinix Inc. Annual Report 2025. Form 10-K para el ejercicio terminado el 31 de diciembre de 2025. Apartados sobre conectividad, clientes y ventaja competitiva. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1101239/000110123926000032/eqix-20251231.htm

[32] Digital Realty. Data Center Connectivity. Oferta de conectividad y ServiceFabric. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.digitalrealty.com/platform-digital/connectivity

[33] Iron Mountain Data Centers. Network Connectivity and Interconnection. Oferta y disponibilidad según ubicación. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.ironmountain.com/data-centers/network-connectivity

[34] Jones C, Wilkes J y Murphy N, con Smith C. Service Level Objectives. Site Reliability Engineering. Google, 2016. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://sre.google/sre-book/service-level-objectives/

[35] Science Museum Group. Sample of 1851 Dover-Calais telegraph cable. Registro de colección. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co32953/sample-of-1851-dover-calais-telegraph-cable-1851

[36] Engineering and Technology History Wiki. Underwater Cables. Historia de ingeniería de los sistemas telegráficos, coaxiales y ópticos. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://ethw.org/Underwater_Cables

[37] Vince C. Sending messages across the Atlantic. Science Museum, 2014. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://blog.sciencemuseum.org.uk/sending-messages-across-the-atlantic-156-years-on-from-the-first-transatlantic-cable/

[38] The Institution of Engineering and Technology. The Transatlantic Telegraph Cables 1865–1866. The IET Archives. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.theiet.org/membership/library-and-archives/the-iet-archives/archives-highlights/the-transatlantic-telegraph-cables-1865-1866

[39] IEEE Communications Society. Transatlantic Telephone Line TAT-1. Cronología de telecomunicaciones, 1956. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.comsoc.org/node/19146

[40] Science Museum Group. Specimen of the first transatlantic telephone cable, 1956. Registro de colección 1960-137. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co33334/specimen-of-the-first-transatlantic-telephone-cable-1956-cable

[41] Bell Labs. TAT-8 The First Transatlantic Optical System. Publicación de 1989, resumen conservado por Nokia. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.nokia.com/bell-labs/publications-and-media/publications/tat-8-the-first-transatlantic-optical-system/

[42] UIT-T. G Suppl. 42. Guide on the use of the ITU-T Recommendations related to optical fibres and systems technology. Edición de octubre de 2018, sección sobre sistemas submarinos. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.itu.int/epublications/es/publication/itu-t-g-suppl-42-2018-10-guide-on-the-use-of-the-itu-t-recommendations-related-to-optical-fibres-and-systems-technology

[43] Bell Labs. Ultra-long-haul coherent transmission for submarine applications. Publicación de septiembre de 2010, resumen conservado por Nokia. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.nokia.com/bell-labs/publications-and-media/publications/ultra-long-haul-coherent-transmission-for-submarine-applications/

[44] Google Cloud. Google’s Dunant subsea cable is now ready for service. 3 de febrero de 2021. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://cloud.google.com/blog/products/infrastructure/googles-dunant-subsea-cable-is-now-ready-for-service

[45] Kumar S. Celebrating the completion of the most advanced subsea cable across the Atlantic. Microsoft, 21 de septiembre de 2017. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://blogs.microsoft.com/blog/2017/09/21/celebrating-completion-advanced-subsea-cable-across-atlantic/

[46] Stowell J y Ramos C. Curie subsea cable set to transmit to Chile, with a pit stop to Panama. Google Cloud, 14 de noviembre de 2019. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://cloud.google.com/blog/products/infrastructure/curie-subsea-cable-set-to-transmit-to-chile-with-a-pit-stop-to-panama

[47] Biblioteca Nacional de Chile. Infraestructura. Memoria Chilena, colección La ingeniería en el siglo XIX. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-94641.html

[48] SUBTEL. Habitantes de Puerto Williams podrán acceder a conectividad móvil de alta velocidad gracias a la Fibra Óptica Austral. 23 de octubre de 2020. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.subtel.gob.cl/habitantes-de-puerto-williams-podran-acceder-a-conectividad-movil-de-alta-velocidad-gracias-a-la-fibra-optica-austral/

[49] SUBTEL. Gobierno y GTD inauguraron en Arica cable submarino Prat. 2 de diciembre de 2021. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.subtel.gob.cl/gobierno-y-gtd-inauguraron-en-arica-cable-submarino-prat-que-proveera-de-fibra-optica-a-gran-parte-del-territorio-nacional/

[50] UIT-T. G.976. Test methods applicable to optical fibre submarine cable systems. Edición de noviembre de 2025. Ficha y resumen.

https://www.itu.int/rec/T-REC-G.976-202511-I/en

[51] International Cable Protection Committee. Media Enquiries and Frequently Asked Questions. Protección, diversidad y reparación de cables submarinos. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.iscpc.org/news/media-enquiries/

[52] NASA. Communications Satellites Making the Global Village Possible. Historia de los satélites de comunicaciones, incluido Early Bird. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.nasa.gov/history/communications-satellites/

[53] UIT-T. G.972. Definition of terms relevant to optical fibre submarine cable systems. Edición de agosto de 2024.

https://www.itu.int/rec/T-REC-G.972-202408-I/en

[54] UIT-T. G.978. Characteristics of optical fibre submarine cables. Edición de mayo de 2025. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.itu.int/epublications/publication/itu-t-g-978-2025-05-characteristics-of-optical-fibre-submarine-cables

[55] Nishida T y Nagatomi O. Latest Technologies and the OCC-SC300 Optical Submarine Cable. NEC Technical Journal, volumen 5, número 1, 2010.

https://www.nec.com/en/global/techrep/journal/g10/n01/pdf/100105.pdf

[56] Suyama M y colaboradores. WDM Optical Submarine Network Systems. Fujitsu Scientific and Technical Journal, volumen 35, número 1, páginas 34–45, julio de 1999. Referencia de arquitectura; las tasas descritas corresponden a esa generación.

https://www.fujitsu.com/global/documents/about/resources/publications/fstj/archives/vol35-1/paper05.pdf

[57] Kaneko T, Chiba Y, Kunimi K y Nakamura T. Power Feeding Equipment for Optical Submarine Cable Systems. NEC Technical Journal, volumen 5, número 1, 2010.

https://www.nec.com/en/global/techrep/journal/g10/n01/pdf/100107.pdf

[58] UIT-T. G Suppl. 41. Design guidelines for optical fibre submarine cable systems. Edición de julio de 2024. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.itu.int/epublications/publication/itu-t-g-suppl-41-2024-07-design-guidelines-for-optical-fibre-submarine-cable-systems

[59] UIT-T. G.973. Characteristics of repeaterless optical fibre submarine cable systems. Edición de noviembre de 2016.

https://www.itu.int/rec/T-REC-G.973-201611-I/en

[60] UIT-T. G.979. Characteristics of monitoring systems for optical fibre submarine cable systems. Edición de noviembre de 2025.

https://www.itu.int/rec/T-REC-G.979-202511-I/en

[61] NEC. Optical Submarine Cable Network Monitoring Equipment. NEC Technical Journal, volumen 5, número 1, febrero de 2010. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.nec.com/en/global/techrep/journal/popular/2019first/04.html

[62] VIAVI Solutions. Submarine Cable Network Architecture. Descripción de BMH, planta terrestre y equipos de estación. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://go.viavisolutions.com/viavi-solutions-submarine-cable-network-architecture

[63] Vela Infrastructure. What we do. Alcances de shore end, fronthaul, CLS, backhaul e integración con data centers. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://velainfra.com/what

[64] California CEQAnet. LAX Transpacific Cable Landing. Expediente SCH 2025071050. Aviso de preparación de evaluación ambiental recibido el 24 de julio de 2025. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://ceqanet.lci.ca.gov/2025071050

[65] Lavallée B. Connecting Data Centers Under the Sea. Ciena, 27 de abril de 2016. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.ciena.com/insights/articles/Connecting-Data-Centers-Under-the-Sea_prx.html

[66] Franken J, Roth L y Reuter C. Information Security at Cable Landing Stations Threats Actors and Protection Measures. Publicado el 16 de septiembre de 2026. DOI 10.3233/NICSP260022.

https://doi.org/10.3233/NICSP260022

[67] SUBCO. Adelaide cable landing station Final design and upcoming construction. Descripción de diseño y soporte de la estación. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://smap-blog.sub.co/blog/adelaide-cable-landing-station-final-design-and-upcoming-construction/

[68] Cirion Technologies. Landing Party Services. Oferta de alojamiento, soporte e interconexión para sistemas submarinos. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.ciriontechnologies.com/en/connectivity/digital-infrastructure/landing-party-services/

[69] International Cable Protection Committee. ICPC Recommendations. Descripción pública de la recomendación 20-1A sobre seguridad de BMH, fronthaul y CLS. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.iscpc.org/publications/recommendations/

[70] International Cable Protection Committee. Submarine Cable Protection and the Environment. Climate Change and Subsea Cables Impacts and Adaptations. Mayo de 2023.

https://iscpc.org/publications/submarine-cable-protection-and-the-environment/ICPC_Public_EU_May%202023.pdf

[71] Ciena. What is coherent optics. Detección coherente, velocidad de símbolo, polarización y compensación digital. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.ciena.com/insights/what-is/what-is-coherent-optics

[72] OIF. Implementation Agreement 400ZR. OIF 400ZR 03.0. 8 de octubre de 2024. Adaptación, FEC y monitorización del perfil.

https://www.oiforum.com/wp-content/uploads/OIF-400ZR-03.0.pdf

[73] IEEE Technology Navigator. Erbium doped fiber amplifier. Amplificación EDFA y emisión espontánea amplificada. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://technav.ieee.org/topic/erbium-doped-fiber-amplifier/

[74] UIT-T. G Suplemento 41. Design guidelines for optical fibre submarine cable systems. Julio de 2024. Secciones 8 y 11.

https://www.itu.int/rec/T-REC-G.Sup41-202407-I/en

[75] Cisco. Practical Aspects of Raman Amplifier. Descripción de amplificación Raman distribuida y configuraciones híbridas.

https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/optical-networking/ons-15454-m6-multiservice-transport-platform-mstp/212834-practical-aspects-of-raman-amplifier.pdf

[76] Cisco. Understand Coherent Optical Modulation. Documento 221071. 11 de octubre de 2023. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/optical-networking/routed-optical-networking/221071-understand-coherent-optical-modulation.html

[77] Juniper Networks. Juniper Coherent Optical Transceivers and Cables Guide. Edición publicada el 31 de marzo de 2026. Introducción a transmisión coherente, DSP, modulación y FEC. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.juniper.net/documentation/us/en/hardware/coherent-optics-cables-guide/coherent-optics-cables-guide.pdf

[78] EXFO. Why test CD and PMD. Magnitudes de dispersión cromática, PMD y DGD. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.exfo.com/es/recursos/blog/cd-pmd-testing/

[79] UIT-T. G.978. Characteristics of optical fibre submarine cables. Mayo de 2025. Dispersión y referencias de caracterización de fibras.

https://www.itu.int/rec/T-REC-G.978-202505-I/en

[80] Nokia Bell Labs. Optical nonlinearity monitoring and launched power optimization by artificial neural networks. Investigación sobre potencia de lanzamiento y no linealidad. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.nokia.com/bell-labs/publications-and-media/publications/optical-nonlinearity-monitoring-and-launched-power-optimization-by-artificial-neural-networks/

[81] EXFO. Importance of measuring OSNR across submarine cable networks. Métodos y ancho de banda de referencia. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.exfo.com/en/resources/blog/understanding-submarine-osnr/

[82] Ciena. Simplifying Open Submarine Cable Link Engineering. GSNR, ESNR y definición del margen. Secciones 2 y 3.

https://www.ciena.com/__data/assets/pdf_file/0021/36039/Simplifying_Open_Submarine_Cable_Link_Engineering_Ebook.pdf

[83] Cisco. Configuring 400G Digital Coherent Optics. Interface and Hardware Component Configuration Guide for Cisco ASR 9000 Series Routers. IOS XR Releases 25.1.x a 25.4.x. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/routers/asr9000/software/25xx/interfaces/configuration/guide/b-interfaces-hardware-component-cg-asr9000-25xx/configuring-400G-digital-coherent-optics.html

[84] UIT-T. G.975.1. Forward error correction for high bit rate DWDM submarine systems. Febrero de 2004 con corrigenda de 2006 y 2013.

https://www.itu.int/rec/T-REC-G.975.1/en

[85] Lavallée B. Simplifying Open Submarine Cable Link Engineering. Ciena. 10 de junio de 2021. Separación entre planta sumergida y terminales. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.ciena.com/insights/articles/simplifying-open-submarine-cable-link-engineering-blog.html

[86] UIT-T. G.977.1. Transverse compatible dense wavelength division multiplexing applications for repeatered optical fibre submarine cable systems. Octubre de 2020. Secciones 6 y 7.

https://www.itu.int/rec/T-REC-G.977.1-202010-I/en

[87] UIT-T. G.694.1. Spectral grids for WDM applications DWDM frequency grid. Octubre de 2020. Sección 8 y Apéndice I.

https://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1-202010-I/en

[88] Ciena. Spectrum Sharing Handbook. Asignación de espectro, control de potencia y condiciones de convivencia.

https://www.ciena.com/__data/assets/pdf_file/0019/30862/Ciena_Spectrum_Sharing_Handbook_1_.pdf

[89] Nokia. Subsea network solutions. Descripción técnica de SDM y carga óptica con ASE. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.nokia.com/optical-networks/subsea-network-solutions/

[90] SubCom y Google. Dunant Submarine Cable System First to Use SDM Technology Ready for Service. Comunicado de puesta en servicio. 3 de febrero de 2021.

https://www.subcom.com/documents/2021/Dunant_RFS_Final_3FEBRUARY2021.pdf

[91] NTT. World first space division multiplexing long distance optical transmission experiment of up to 455 terabits per second in the terrestrial field environment. 9 de diciembre de 2024. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://group.ntt/en/newsrelease/2024/12/09/241209a.html

[92] Domingues OD, Mello DAA, Silva R, Arık SÖ y Kahn JM. Capacity Limits of Space Division Multiplexed Submarine Links Subject to Nonlinearities and Power Feed Constraints. OFC 2017. Th2A.50. Resumen público. DOI 10.1364/OFC.2017.Th2A.50. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://opg.optica.org/abstract.cfm?uri=ofc-2017-Th2A.50

[93] Koley B. Hola South America Announcing the Firmina subsea cable. Google Cloud. 9 de junio de 2021. Condición de alimentación desde un extremo descrita en el anuncio del diseño. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://cloud.google.com/blog/products/infrastructure/announcing-the-firmina-subsea-cable

[94] SubOptic. Open Cable Management Working Group Recommendations 2nd Edition. Presentación pública de las recomendaciones. 29 de mayo de 2025. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.suboptic.org/papers-presentations/open-cable-management-recommendations

[95] Ciena. Open Submarine Cable Management Handbook. Modelos de datos e interfaces de gestión.

https://www.ciena.com/__data/assets/pdf_file/0022/32773/Open_Submarine_Cable_Management_Handbook.pdf

[96] EXFO. Optical Time Domain Reflectometer. Glosario técnico sobre alcance y zonas muertas. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.exfo.com/en/resources/glossary/optical-time-domain-reflectometer-otdr/

[97] UIT-T Y.1564. Ethernet service activation test methodology. Catálogo de ediciones.

https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1564/en

[98] IETF. RFC 2544 y RFC 6815. Alcance del benchmarking y aplicación en redes de producción.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6815.html

[99] KIS-ORCA. Submarine Cable Maintenance. Descripción general de coordinación y reparación. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://kis-orca.org/subsea-cables/submarine-cable-maintenance/

[100] Global Marine. Subsea Telecommunications Fibre Optic Cable Maintenance. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://globalmarine.co.uk/services/subsea-cable-maintenance/

[101] Atlantic Cable Maintenance and Repair Agreement. Services. Alcance público del acuerdo. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.acma2017.com/services/

[102] Zhan Z y otros. Optical polarization based seismic and water wave sensing on transoceanic cables. Science 371, 931 a 936. 2021. DOI 10.1126/science.abe6648. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://authors.library.caltech.edu/records/j83cs-f0c41

[103] Costa L y otros. Localization of seismic waves with submarine fiber optics using polarization only measurements. Communications Engineering. DOI 10.1038/s44172-023-00138-4. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10955929/

[104] Marra G y otros. Optical interferometry based array of seafloor environmental sensors using a transoceanic submarine cable. Science 376, 874 a 879. 2022. DOI 10.1126/science.abo1939. Resumen público. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35587960/

[105] Sladen A y otros. Distributed sensing of earthquakes and ocean solid Earth interactions on seafloor telecom cables. Nature Communications 10, 5777. 2019. DOI 10.1038/s41467-019-13793-z. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6920424/

[106] UIT-T G.9730.2. Scientific monitoring and reliable telecommunication submarine cable systems. Agosto de 2024.

https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9730.2-202408-I/en

[107] UIT-T G.9730.1. Dedicated scientific sensing submarine cable system. Agosto de 2024. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=16050

[108] Cisco. What is routed optical networking? Arquitectura de routers y ópticas coherentes. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.cisco.com/site/us/en/learn/topics/networking/what-is-routed-optical-networking.html

[109] Ciena. What is ROADM? Funciones de inserción, extracción y paso óptico. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.ciena.com/insights/what-is/what-Is-roadm.html

[110] UIT-T G.709/Y.1331. Interfaces for the optical transport network. Catálogo de componentes vigentes.

https://www.itu.int/rec/T-REC-G.709/en

[111] Mplify Alliance. Carrier Ethernet Service Standards. Tipos E-Line, E-LAN y E-Tree. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.mplify.net/service-standards/underlay-services/carrier-ethernet/

[112] IETF. RFC 4271. A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4). Enero de 2006.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4271.html

[113] IETF. RFC 4090. Fast Reroute Extensions to RSVP-TE for LSP Tunnels. Mayo de 2005.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4090.html

[114] IETF. RFC 4202. Routing Extensions in Support of GMPLS. Sección 2.3, SRLG. Octubre de 2005.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4202.html

[115] IETF. RFC 8001. RSVP-TE Extensions for Collecting Shared Risk Link Group Information. Enero de 2017.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8001.html

[116] SENAPRED. Visor Chile Preparado. Información territorial para revisión de amenazas. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.senapred.gov.cl/visor-chile-preparado/

[117] MINVU. Permisos, Aprobaciones y Recepciones. Orientaciones y formularios municipales. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.minvu.gob.cl/elementos-tecnicos/permisos-aprobaciones-y-recepciones/

[118] MINVU. Permiso SERVIU de rotura y reposición de pavimentos. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.minvu.gob.cl/tramite/permiso-de-rotura-y-reposicion-de-pavimentos/

[119] Dirección de Vialidad, MOP. Permiso de ocupación de faja vial. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://vialidad.mop.gob.cl/gestion-vial/permiso-de-ocupacion-de-faja-vial-paralelismo-y-o-atraviesos/

[120] ChileAtiende. Permiso de ocupación de faja vial en caminos públicos. Etapas del trámite. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026. Metadatos contrastados en la ficha institucional indexada.

https://www.chileatiende.gob.cl/fichas/56612-permiso-de-ocupacion-de-faja-vial-en-caminos-publicos-paralelismo-y-o-atraviesos

[121] SEA. Consultas de Pertinencia de Ingreso al SEIA. Alcance del pronunciamiento.

https://www.sea.gob.cl/consultas-de-pertinencia-de-ingreso-al-seia

[122] Corning. Duct Installation of Fiber Optic Cable. SRP 005-011, edición 17, junio de 2019.

https://www.corning.com/content/dam/corning/catalog/coc/documents/standard-recommended-procedures/005-011.pdf

[123] IEA. Energy and AI. Capítulo AI and energy security, conexión de data centers a redes eléctricas. 2025. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.iea.org/reports/energy-and-ai/ai-and-energy-security

[124] TIA. TIA-942. Alcance público de la revisión C de Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://tiaonline.org/standard/tia-942/

[125] ISO/IEC TS 22237-5:2018. Information technology — Data centre facilities and infrastructures — Part 5: Telecommunications cabling infrastructure. Resumen público y estado de edición.

https://www.iso.org/standard/73012.html

[126] Fluke Networks. Data Center Cabling & Connectivity. Áreas funcionales del cableado. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.flukenetworks.com/expertise/learn-about/data-centers

[127] Equinix. Customer-Managed Pre-Cabling. Componentes en arquitecturas con MMR. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://docs.equinix.com/cross-connect/installation/xc-customer-managed-precabling/

[128] Oracle Cloud Infrastructure. Meet-Me Rooms. Guía de preparación para despliegues Dedicated Cloud. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://docs.oracle.com/en-us/iaas/Content/dedicated/build-readiness-guide/meet-me-rooms.htm

[129] ASHRAE Handbook, 2023. Capítulo 20: Data Centers and Telecommunication Facilities. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://handbook.ashrae.org/Handbooks/A23/SI/A23_Ch20/a23_ch20_si.aspx

[130] Equinix. Demarcations. Reglas de presentación del punto de terminación. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://docs.equinix.com/cross-connect/installation/xc-demarcations/

[131] Fluke Networks. In the Data Center Where and What Am I Testing. Inspección y alcance de las pruebas. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.flukenetworks.com/edocs/white-paper-data-center-where-and-what-am-i-testing

[132] UIT-T G.652. Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. Agosto de 2024.

https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-202408-I/en

[133] UIT-T G.657. Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable. Agosto de 2024.

https://www.itu.int/itu-t/recommendations/rec.aspx?lang=es&rec=16037

[134] Cisco. 10GBASE SFP+ Modules Data Sheet. Especificaciones del SFP-10G-T-X. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/interfaces-modules/transceiver-modules/data_sheet_c78-455693.html

[135] Fluke Networks. Permanent Link definition DSX CableAnalyzer. Alcance del enlace fijo. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.flukenetworks.com/knowledge-base/dsx-cableanalyzer-series/permanent-link-definition-dsx-cableanalyzer

[136] Fluke Networks. MPO vs MTP Fiber Connectors Explained. Interfaces y correspondencias de polaridad. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.flukenetworks.com/expertise/learn-about/multi-fiber-push-mpo-connectors

[137] IEC 61300-3-35:2022. Visual inspection of fibre optic connectors and fibre-stub transceivers. Resumen público de alcance.

https://webstore.iec.ch/en/publication/64254

[138] Equinix. Order Cross Connects with a Letter of Authorization. Mecanismos y alcance de la LOA. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://docs.equinix.com/cross-connect/ordering/xc-order-cc-with-loa/

[139] Cboe. Futures Exchange Connectivity Manual. Asignación LOA-CFA para conexiones. Historial de revisión 2.0.17, 7 de octubre de 2026. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.cboe.com/document/tech-spec/document/technical-specifications/cboe-titanium-cboe-futures-exchange-connectivity-manual/

[140] NetBox Labs. Cables. Modelo de conexiones y extremos. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://netboxlabs.com/docs/netbox/models/dcim/cable/

[141] NetBox Labs. Front Ports y Rear Ports. Puertos de paso en el modelo de componentes. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://netboxlabs.com/docs/netbox/models/dcim/frontport/

[142] Ciena. What is Optical Transport Networking. Funciones de transpondedores y muxpondedores. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.ciena.com/insights/what-is/What-is-Optical-Transport-Networking-OTN.html

[143] Mplify Alliance. MEF 10.4 Subscriber Ethernet Services Attributes. Alcance de los atributos observables en la UNI. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.mplify.net/resources/mef-10-4-subscriber-ethernet-services-attributes/

[144] IETF. RFC 7938. Use of BGP for Routing in Large-Scale Data Centers. Documento informativo. Agosto de 2016.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7938.html

[145] NVIDIA. Cumulus Linux 5.10. RDMA over Converged Ethernet. Ejemplo de clases y control de congestión. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://docs.nvidia.com/networking-ethernet-software/cumulus-linux-510/Layer-1-and-Switch-Ports/Quality-of-Service/RDMA-over-Converged-Ethernet-RoCE/

[146] IETF. RFC 7143. Internet Small Computer System Interface Protocol Consolidated. Abril de 2014.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7143.html

[147] NVM Express. NVMe over TCP Transport Specification. Relación con transportes PCIe y RDMA. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://nvmexpress.org/specification/tcp-transport-specification/

[148] SNIA. What is NVMe over Fabrics. Protocolos y transportes de almacenamiento. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.snia.org/education/what-is-nvme-of

[149] NVIDIA. GPUDirect RDMA. Requisitos y limitaciones de plataforma. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://docs.nvidia.com/cuda/gpudirect-rdma/index.html

[150] NVIDIA. Base Command Manager 11. Configuring The Cluster. Administración de subredes InfiniBand. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://docs.nvidia.com/base-command-manager/product-manuals/11/admin/configuring

[151] IEEE. 802.1Q 2022. Bridges and Bridged Networks. Alcance público del estándar. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://1.ieee802.org/maintenance/p802-1q-rev/

[152] IETF. RFC 8200. Internet Protocol Version 6 Specification. Julio de 2017.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8200.html

[153] IEEE. 802.1AX 2020. Link Aggregation. Catálogo y alcance del estándar. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://standards.ieee.org/ieee/802.1AX/6768/

[154] IETF. RFC 7348. Virtual eXtensible Local Area Network. Agosto de 2014.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7348.html

[155] IETF. RFC 8365. A Network Virtualization Overlay Solution Using Ethernet VPN. Marzo de 2018.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8365.html

[156] IETF. RFC 7454. BGP Operations and Security. Febrero de 2015.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7454.html

[157] IETF. RFC 6811. BGP Prefix Origin Validation. Enero de 2013.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6811.html

[158] Microsoft. ExpressRoute connectivity models. Modelos de conexión. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://learn.microsoft.com/en-us/azure/expressroute/expressroute-connectivity-models

[159] AWS. Direct Connect Resiliency Recommendations. Arquitecturas de continuidad. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://aws.amazon.com/directconnect/resiliency-recommendation/

[160] IETF. RFC 9499. DNS Terminology. Marzo de 2024.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc9499.html

[161] IETF. RFC 5905. Network Time Protocol Version 4. Junio de 2010.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5905.html

[162] RFC Editor. TLS 1.3. Registro de RFC 9846 que sustituye RFC 8446. Verificar implementación, estado y erratas.

https://www.rfc-editor.org/info/rfc9846/

[163] JCGM. VIM. Conceptos de exactitud precisión y repetibilidad.

https://www.iso.org/sites/JCGM/VIM/JCGM_200e_FILES/MAIN_JCGM_200e/02_e.html

[164] JCGM. VIM 3 apartado 2.39. Calibration y anotaciones. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://jcgm.bipm.org/vim/en/2.39.html

[165] JCGM. VIM 3 apartado 2.26. Measurement uncertainty. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://jcgm.bipm.org/vim/en/2.26.html

[166] BIPM. JCGM Publications. Familia GUM y evaluación de conformidad. Consultar ediciones y enmiendas aplicables.

https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/publications

[167] Cisco. Inspection and Cleaning Procedures for Fiber Optic Connections. Procedimiento y condiciones de intervención. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/optical/synchronous-digital-hierarchy-sdh/51834-cleanfiber2.html

[168] Fluke Networks. Fiber Optic Testers and Test Equipment Guide. Funciones de inspección y prueba. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.flukenetworks.com/expertise/learn-about/fiber-testing

[169] Fluke Networks. Optical Fiber Testing. Métodos de referencia y accesorios. Aplicar el procedimiento del instrumento utilizado.

https://s3.amazonaws.com/download.flukenetworks.com/Download/Asset/7003041-a-en.pdf

[170] Fluke Networks. Encircled Flux Solving the Puzzle of Repeatable Fiber Loss Testing. Condiciones de lanzamiento multimodo. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.flukenetworks.com/edocs/white-paper-encircled-flux-solving-the-puzzle-of-repeatable-fiber-loss-testing

[171] FOA. Optical Time Domain Reflectometer. Principios de medida y lectura de trazas. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.foa.org/tech/ref/testing/OTDR/OTDR.html

[172] EXFO. OTDR User Guide. Configuración y fibras de lanzamiento y recepción. Consultar el manual del instrumento empleado.

https://www.exfo.com/contentassets/ba72337aa0224f8cb154c9325881dfec/user_guide_otdr_english_19001.pdf

[173] ITU-T. G.650.3 agosto de 2017. Test methods for installed single-mode optical fibre cable links.

https://www.itu.int/rec/T-REC-G.650.3-201708-I/en

[174] EXFO. Understanding and mitigating OTDR gainers. Nota de aplicación 385. 2020.

https://www.exfo.com/contentassets/3d776ed03c01451d8e1d0cdb83370c4b/exfo_anote385_understanding-mitigating-otdr-gainers_en.pdf

[175] FOA. Measuring Reflectance or Return Loss. Distinción entre evento y retorno del enlace. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.thefoa.org/tech/ref/testing/test/reflectance.html

[176] ITU-T. G.650.1 enero de 2024. Definiciones y métodos de atributos lineales determinísticos. Apartado 6.5 y anexo A.

https://www.itu.int/rec/T-REC-G.650.1-202401-I/en

[177] EXFO. Chromatic Dispersion Analysis Methods. Nota de aplicación 077. Mayo de 2005. Referencia histórica de principios y ajuste.

https://www.exfo.com/contentassets/483bece798e246ba8aed7fc165f61452/exfo_anote077_cd-analysis-methods_en.pdf

[178] ITU-T. G.650.2 agosto de 2015. Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable.

https://www.itu.int/rec/T-REC-G.650.2-201508-I/en

[179] IETF. RFC 4054. Impairments and Other Constraints on Optical Layer Routing. Mayo de 2005. Referencia histórica de modelos.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4054.html

[180] IEC. IEC TR 61282-9 2016. Guidance on polarization mode dispersion measurements and theory. Alcance del informe técnico.

https://webstore.iec.ch/en/publication/24407

[181] IEC e ISO. ISO/IEC 14763-3 2024. Alcance público de inspección y ensayo de cableado óptico instalado.

https://webstore.iec.ch/en/publication/67723

[182] TIA. Publicación de ANSI/TIA-568.3-E. Optical Fiber Cabling Component Standard. Septiembre de 2022. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://tiaonline.org/standardannouncement/tia-issues-updated-optical-fiber-cabling-component-standard-ansi-tia-568-3-e/

[183] TIA. Publicación de ANSI/TIA-568.2-E. Noviembre de 2024. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://tiaonline.org/standardannouncement/tia-publishes-new-standards-ansi-tia-568-2-e-and-ansi-tia-568-5-1/

[184] Fluke Networks. What Is the Right Way to Test an MPTL. Agosto de 2023. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.flukenetworks.com/blog/cabling-chronicles/right-way-to-test-MPTL

[185] Fluke Networks. Industrial Ethernet CableAnalyzer Kit. Parámetros y selección de perfil. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.flukenetworks.com/edocs/industrial-ethernet-cableanalyzer-kit

[186] Fluke Networks. DC Resistance Unbalance Testing What You Need to Know. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.flukenetworks.com/blog/cabling-chronicles/dc-resistance-unbalance-what-you-need-know

[187] MEF. 48.1. Ethernet Service Activation Testing. Febrero de 2020. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.mplify.net/resources/mef-48-1-ethernet-service-activation-testing/

[188] OIF. 800ZR Interoperability White Paper. OFC 2025 Plugfest. Abril de 2025.

https://www.oiforum.com/wp-content/uploads/OFC-2025-800ZR-Interop-White-Paper-4_17.pdf

[189] IETF. RFC 7567. IETF Recommendations Regarding Active Queue Management. Julio de 2015.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7567.html

[190] IETF. RFC 4656. OWAMP.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4656.html

[191] IETF. RFC 5357. TWAMP.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5357.html

[192] IETF. RFC 8762. STAMP.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8762.html

[193] RIPE NCC. RIPE Atlas Documentation. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://atlas.ripe.net/docs/

[194] Weaver, Veitch, Barford, Bustamante y Carisimo. Monitoring Latency on Submarine Cables: Limitations and Opportunities. NINeS 2026. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://drops.dagstuhl.de/entities/document/10.4230/OASIcs.NINeS.2026.16

[195] OpenTelemetry. Traces. Conceptos de spans y correlación de operaciones. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://opentelemetry.io/docs/concepts/signals/traces/

[196] NVIDIA. NCCL. Networking Troubleshooting. Documentación consultada en noviembre de 2026.

https://docs.nvidia.com/deeplearning/nccl/user-guide/docs/troubleshooting/networking_troubleshooting.html

[197] NVIDIA. NCCL Tests. Performance reported by NCCL tests. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://github.com/NVIDIA/nccl-tests/blob/master/doc/PERFORMANCE.md

[198] IETF. RFC 6413. Benchmarking Methodology for Link-State IGP Data-Plane Route Convergence. Noviembre de 2011.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6413.html

[199] NIST. SP 800-34 Rev. 1. Contingency Planning Guide for Federal Information Systems. Actualización de noviembre de 2010.

https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/34/r1/upd1/final

[200] IEEE 802.1. MAC Security MACsec. Estado de 802.1AE y documentos asociados. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://1.ieee802.org/security/802-1ae/

[201] IETF. RFC 4301. Security Architecture for the Internet Protocol.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4301.html

[202] NIST. SP 800-207. Zero Trust Architecture. Agosto de 2020.

https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/207/final

[203] NIST. SP 800-61 Rev. 3. Incident Response Recommendations and Considerations for Cybersecurity Risk Management. Abril de 2025.

https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/61/r3/final

[204] NIST. SP 800-82 Rev. 3. Guide to Operational Technology Security. Septiembre de 2023. Catálogo y estado de revisión.

https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/82/r3/final

[205] IETF. RFC 6241. Network Configuration Protocol NETCONF.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6241.html

[206] IETF. RFC 8342. Network Management Datastore Architecture.

https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8342.html

[207] NIST. SP 800-181 Rev. 1. Workforce Framework for Cybersecurity NICE Framework. Noviembre de 2020.

https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/181/r1/final

[208] BICSI. ANSI/BICSI 002-2024. The Standard for Data Center Design. Descripción oficial de alcance. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.bicsi.org/standards/ansi-bicsi-002-2024-the-standard-for-data-center-design/

[209] TIA. TIA-942-C Data Center Infrastructure Standard. Mayo de 2024. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://tiaonline.org/resource/tia-942-c-data-center-infrastructure-standard/

[210] ISO. ISO/IEC 17025:2017. Competencia de laboratorios.

https://www.iso.org/standard/66912.html

[211] Uptime Institute. Tier Certification. Tipos y alcance. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026. Metadatos contrastados en la ficha institucional indexada.

https://uptimeinstitute.com/tier-certification

[212] Zayo. Private Networks. Ejemplo público de modalidades comerciales, sin adoptar sus precios ni condiciones. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.zayo.com/resources/zayos-private-networks-the-ultimate-combination-of-network-control-scale-security-and-performance/

[213] Mplify Alliance. LSO APIs. Automatización de interacciones de negocio y operación. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.mplify.net/service-automation/lso-apis/

[214] ISO. ISO/IEC 30134-2:2026. Power usage effectiveness PUE. Segunda edición, enero de 2026.

https://www.iso.org/es/norma/30134-2

[215] ISO. ISO/IEC FDIS 22237-5. Ficha del proyecto consultado en 2026.

https://www.iso.org/standard/88710.html?browse=tc

[216] BIPM / JCGM. JCGM 106:2012. Evaluation of measurement data — The role of measurement uncertainty in conformity assessment. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.bipm.org/en/doi/10.59161/jcgm106-2012

[217] Keysight. BER — Is it bit error rate or bit error ratio? Modelo de confianza con cero errores, 2019. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://www.keysight.com/blogs/en/tech/2019/03/10/ber-is-it-bit-error-rate-or-bit-error-ratio

[218] VIAVI. 8100 Series Modules: OTDR, FiberComplete, OSA, Dispersion and Fiber Characterization. Manual 78000010220, revisión 025, 2021.

https://www.viavisolutions.com/en-uk/literature/8100-series-modules-otdr-fibercomplete-osa-dispersion-fiber-characterization-manuals-user-guides.pdf

[219] Kovacs IB, Faruk M, Wonfor A y Savory S. Data supporting publication 200 Gb/s/λ Bidirectional Coherent PON Solutions Demonstrated over Field Installed Fiber. Cambridge Apollo, DOI 10.17863/CAM.108811. Licencia CC BY 4.0; informe de adquisición 2023-10-08.

https://www.repository.cam.ac.uk/items/af61e3ee-efed-4788-9e74-7bb100736ad1

[220] Fougères A. Polarization OTDR Locating High-PMD Fibers. EXFO, Application Note 087, edición 2005. Casos históricos de campo B y C.

https://www.exfo.com/contentassets/72f9ff202d89425c8923b3b2919a4a11/exfo_anote087_locating-high-pmd-fibers_en.pdf

[221] Aben E. Does the Internet Route Around Damage Baltic Sea Cable Cuts. RIPE Labs, 20 de noviembre de 2024.

https://labs.ripe.net/author/emileaben/does-the-internet-route-around-damage-baltic-sea-cable-cuts/

[222] FRRouting. EVPN, documentación stable 10.1. Referencia de sintaxis y asociación de interfaces para laboratorio. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://docs.frrouting.org/en/stable-10.1/evpn.html

[223] FRRouting. BGP, documentación stable 10.1. Referencia de políticas de prefijos y vecinos de laboratorio. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://docs.frrouting.org/en/stable-10.1/bgp.html

[224] ESnet. Invoking iperf3. Manual de opciones de cliente servidor salida JSON y tasa. Registrar la versión instalada para cada ejecución. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://software.es.net/iperf/invoking.html

[225] NVIDIA. NCCL Tests, repositorio oficial e instrucciones de ejecución. Conservar commit compilación y versiones en cada ensayo. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://github.com/NVIDIA/nccl-tests

[226] iproute2. Manuales ip-netns e ip-link del proyecto. Referencia de espacios de nombres e interfaces virtuales del laboratorio. Comprobación bibliográfica: 5 de noviembre de 2026.

https://man7.org/linux/man-pages/man8/ip-netns.8.html

[227] Aben E. A Deep Dive Into the Baltic Sea Cable Cuts. RIPE Labs, 19 de diciembre de 2024.

https://labs.ripe.net/author/emileaben/a-deep-dive-into-the-baltic-sea-cable-cuts/

[228] Fluke Networks. OLTS & OTDR A Complete Testing Strategy. Procedimientos y alcances de referencia. Consulta 5 de noviembre de 2026.
https://www.flukenetworks.com/edocs/olts-otdr-complete-testing-strategy

[229] Fluke Networks. White Paper Troubleshooting Fiber. Apartado Launch And Receive Cables and Compensation. Consulta 5 de noviembre de 2026.
https://www.flukenetworks.com/edocs/white-paper-troubleshooting-fiber

[230] EXFO. Fiber Characterization. Métodos de caracterización y equipos de uno o dos extremos. Consulta 5 de noviembre de 2026.
https://www.exfo.com/en/solutions/fixed-and-cable-operators/fiber-characterization/

[231] Fluke Networks. Multi-fiber Push On MPO Connectors. Estructura, casetes y comprobación de polaridad. Consulta 5 de noviembre de 2026.
https://www.flukenetworks.com/expertise/learn-about/multi-fiber-push-mpo-connectors

[232] VIAVI Solutions. Data Center Use Case Test Guide. 2025. Alcances de pruebas y observación pre-FEC y post-FEC. Consulta 5 de noviembre de 2026.
https://www.viavisolutions.com/en-uk/literature/data-center-use-case-test-guide-case-studies-en.pdf

Índice analítico

Entradas al capítulo que desarrolla el tema. Las páginas enlazan con su inicio; los índices de figuras y tablas permiten localizar los objetos concretos.

Acreditación de laboratorios 416
Acta y reservas de aceptación 340
Alarma y cronología OTN 320
AllReduce y busbw 371
Almacenamiento y persistencia 209
Amarre, estación de 75
Amplificación óptica 83
Ancho de banda y capacidad 92
API y despliegue parcial 404
Aplicación, prueba funcional 366
As-built y permisos 134
Aterrizaje y BMH 75
Automatización 404
Backhaul 118
BDP, producto ancho de banda-retardo 350
BER y confianza con cero errores 314
BGP y validación de origen 230
Bobina de lanzamiento y recepción 264
Báltico latencia y continuidad 345
Cable abierto 92
Cable submarino, historia 59
Calibración e incertidumbre 245
Cambridge trazas OTDR públicas 264
Campus Faro, datos maestros 428
Canal y enlace permanente 302
Capacidad sobreviviente 432
Captura PCAP y descartes 361
Carrier, aceptación integrada 308
CD, dispersión cromática 278
CDN y ecosistema 35
Certificación y alcance 416
CIR y velocidad de puerto 220
CLS y SLTE 75
Cobre, NEXT y margen 302
Colas y microbursts 356

Colectivas de IA 371
Comisionamiento integrado 413
Compatibilidad host-módulo 335
Conectores y pines 176
Configuración BGP de laboratorio 230
Congestión y ECN 356
Conmutación y retorno 379
Continuidad de aplicación 383
Contratos y TCO 419
Crecimiento de fibras 436
Cross connect, ciclo de vida 181
Cuarentena de evidencia inválida 340
Cámara de playa 75
DCIM y fuente de datos 395
Demarcación y NID 199
DGD y parámetro PMD 284
Dirección y responsabilidades 43
Dispersión cromática acumulada 278
Diversidad física y SRLG 129
DNS y servicios auxiliares 240
DOM y pareja óptica 193
Dominios de falla 376
Ductos y permisos 134
ECN y PFC en IA 215
Energía y selección del sitio 140
Enlace permanente 302
Equipo de borde 199
Equipos ópticos y FEC 193
Espectro y potencia óptica 314
Ethernet, activación Y.1564 325
Expediente de aceptación 340
Factibilidad comercial 422
FAT y SAT 413
FEC, errores antes y después 314
Fibra, reserva por dominio 436
Formación y autorización 407
Fronthaul submarino 75
Fuera de banda, gestión 398
Férula e inspección 251

Gainer y promedio bidireccional....271
Gestión de incidentes....389
Goodput y ventana TCP....350
GPU, NIC y PCIe....215
Hashing y capacidad agregada....204
Host, NUMA y almacenamiento....209
Identidad y recuperación....383
Incertidumbre expandida....245
Inspección y limpieza....251
Interconexión de MMR....159
Interoperabilidad....335
Inventario y doble reserva....185
IPDV y jitter....345
IPv4, IPv6 y MTU....220
IXP y peering....230
Jitter, definición de la métrica....345
Laboratorio Linux de MTU....220
Laboratorios de medición....245
Latencia y percentiles....345
Latiguillos y planos de referencia....257
Limpieza y reinspección....251
Mapa de fibras y polaridad....176
Margen de reparación....257
Medición unidireccional y reloj....345
MEF y servicio Ethernet....325
Metrología y regla de decisión....245
Microburst y resolución temporal....356
Migración y retorno....444
MMR, diseño y elevaciones....152
Monitoreo y ausencia de datos....392
MOP y detención....401
MPO, mapa de posiciones....176
MTU y encapsulación....220
NCCL, algbw y busbw....371
Neutralidad y operadores....35
NID y punto de prueba....199
Nube y acceso remoto....235
NVP y perfil de cobre....302
Observabilidad....392

OLTS y cobertura de fibras 290
ORL y reflectancia 271
OTDR y zona muerta 264
OTN y mapeo cliente 320
Overlay y underlay 225
PCAP sintética y alcance 361
PCIe cota de capacidad 209
Permisos y planta externa 134
PFE y alimentación sumergida 67
Plano de campus y penetraciones 146
PMD casos históricos de campo 284
PMD y distribución de DGD 284
Polaridad de extremo a extremo 176
Potencia absoluta y pérdida 257
Presupuesto óptico 257
Procedimiento y competencia 407
Protección y capacidad residual 379
Prueba de carga de aplicación 366
Puertos y reserva 185
Pérdida IP y respuestas ausentes 345
QoS y clases simultáneas 356
Rack, paneles y equipos 167
Receptor, sensibilidad y máximo 193
Recontratación y salida 419
Recuperación e integridad 383
Referencias y vigencia normativa 416
Regla de decisión con incertidumbre 245
Reparación submarina 107
Reserva de fibras 436
RFC 2544 y RFC 6815 325
Riesgos compartidos 376
RPO y RTO 383
Rúbrica de aprendizaje 407
Salas blancas y distribución 163
Seguridad y cifrado 386
Sensado submarino 112
Servicio entregable 20
SLTE y planta húmeda 67
Sobresuscripción de una fabric 204

Sobresuscripción y spine-leaf 204
Sostenibilidad y reutilización 425
SRLG, matriz de riesgos 376
TCO y sensibilidad de costos 419
TCP y BDP 350
Throughput y goodput 350
Tiempo de recuperación funcional 444
TLS y transacciones 366
Trazabilidad de evidencias 340
Troncal y reserva local 436
Unidades decimales y capas 220
VLAN y bytes contados 325
VXLAN capas y VNI 225
WDM y evolución histórica 59
Y.1564, fuera de servicio 325
Zona muerta y ancho del pulso 264
Árbol de diagnóstico de servicio 361
Índice de grupo OTDR 264