WHITEPAPER

CABLEADO ESTRUCTURADO EN INFRAESTRUCTURAS CORPORATIVAS Y CRÍTICAS: MARCO DE DISEÑO, CERTIFICACIÓN Y ACEPTACIÓN

A3A®
Engenharia
de Sistemas

SUMÁRIO

1. RESUMEN EJECUTIVO 3

2. BASE NORMATIVA Y JERARQUÍA DE REQUISITOS 5

2.1. CATEGORÍAS, CLASES Y APLICACIONES: EVITAR EQUIVALENCIAS INDEBIDAS . . 6

3. LA NECESIDAD DEL PROPIETARIO Y LA DEFINICIÓN DEL ALCANCE 7

4. ARQUITECTURA FÍSICA: DISTRIBUIDORES, BACKBONE Y CABLEADO HORIZONTAL . 8

4.1. TOPOLOGÍA LÓGICA Y DIVERSIDAD FÍSICA NO SON SINÓNIMOS 9

4.2. SALAS TÉCNICAS, RACKS Y DISPONIBILIDAD DE ESPACIO 10

5. SELECCIÓN DEL MEDIO FÍSICO: COBRE, FIBRA ÓPTICA Y LÍMITES DE LA APLICACIÓN 10

5.1. ENLACE PERMANENTE, CANAL, MPTL Y CONEXIÓN DIRECTA 11

6. INFRAESTRUCTURA DE CANALIZACIONES: DIMENSIONAR EL ESPACIO QUE NO APARECE EN EL DIAGRAMA LÓGICO 12

7. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA, BLINDAJE Y EQUIPOTENCIALIDAD 13

8. POE Y DESEMPEÑO ELÉCTRICO: LA RED TAMBIÉN TRANSPORTA ENERGÍA 14

8.1. CÁLCULO PRELIMINAR DE CARGAS POE Y SUS LIMITACIONES 15

9. BACKBONE ÓPTICO: CAPACIDAD, PÉRDIDAS, POLARIDAD Y CONTINUIDAD 16

9.1. ENSAYO DE PÉRDIDA DE INSERCIÓN Y UTILIZACIÓN DEL OTDR 16

10. ESTUDIO APLICADO: CABLEADO DE TRES PLANTAS EN UNA INSTALACIÓN CORPORATIVA CRÍTICA 17

10.1. DIMENSIONAMIENTO DE TOMAS Y DISTRIBUIDORES 18

10.2. ESTIMACIÓN DE LONGITUD DEL CABLEADO HORIZONTAL Y VERIFICACIÓN DE RUTAS 19

10.3. CARGAS POE DE LOS DISPOSITIVOS Y DISTRIBUCIÓN POR PLANTA 20

10.4. BACKBONE Y PRESUPUESTO ÓPTICO HIPOTÉTICO 21

10.5. TRAZABILIDAD DEL ESTUDIO DE CASO HASTA LA ACEPTACIÓN 22

11. INGENIERÍA DE CONTRATACIÓN: ESPECIFICAR EL DESEMPEÑO SIN IMPONER UNA TECNOLOGÍA 22

12. PLAN DE INSPECCIÓN Y ENSAYOS: DISTINGUIR FABRICACIÓN, INSTALACIÓN Y CERTIFICACIÓN 23

12.1. CERTIFICACIÓN DE COBRE: POR QUÉ IMPORTA CADA PARÁMETRO 24

12.2. CERTIFICACIÓN DE FIBRA: EVIDENCIA ÓPTICA Y TRAZABILIDAD 25

13. AS BUILT, INVENTARIO Y GESTIÓN DEL CICLO DE VIDA 26

14. AUDITORÍA Y PROJECT ASSURANCE DEL CABLEADO ESTRUCTURADO 27

14.1. INDICADORES DE PREPARACIÓN, NO SOLO DE PRODUCCIÓN 28

15. CONSIDERACIONES FINALES 29

Un proyecto de cableado estructurado para infraestructuras corporativas y críticas es la definición coordinada de las canalizaciones físicas de telecomunicaciones, distribuidores, salas técnicas, medios de transmisión, conectividad y condiciones de verificación que permitirán a un edificio o campus admitir aplicaciones de datos, voz, vídeo, control, automatización y alimentación remota. Su resultado no es simplemente una lista de cables y conectores: es una infraestructura pasiva con prestaciones especificadas, interfaces administrables, capacidad de evolución, trazabilidad y evidencias objetivas de conformidad antes de la recepción.

La ingeniería comienza por los requisitos de capacidad, distancias, densidad, disponibilidad, riesgos y restricciones constructivas; traduce esos requisitos en una arquitectura jerárquica, topología de backbone, dimensionamiento de cobre y fibra, canalizaciones, distribución y política de identificación; establece criterios de adquisición, instalación y ensayos; y concluye con informes de certificación vinculados a cada enlace y documentación As Built. Sin esta secuencia, una red puede funcionar durante una demostración y, aun así, presentar incompatibilidades, pérdida de margen técnico, calentamiento debido a PoE, fallas intermitentes, dificultades de mantenimiento o imposibilidad de ampliar puntos.

En Brasil, la referencia principal es la **ABNT NBR 14565:2025**, sexta edición de cableado para edificios comerciales, articulada con la serie **ABNT NBR 16869** para la planificación, los ensayos ópticos, los enlaces especiales, la gestión automatizada y las redes ópticas pasivas. Según el objeto del proyecto, las referencias ISO/IEC y ANSI/TIA complementan la especificación. Este whitepaper desarrolla un **Marco de Ingeniería y Aseguramiento del Cableado** para convertir esas referencias en entregables, controles, pruebas y decisiones. Sus listas de verificación y ejemplos constituyen propuestas metodológicas de A3A Engenharia, no transcripciones de normas.

1. RESUMEN EJECUTIVO

El cableado estructurado permanece instalado durante mucho más tiempo que el ciclo de sustitución de muchos equipos de TI y seguridad. Por ello, los errores en la infraestructura pasiva afectan a sucesivas generaciones de switches, puntos de acceso, cámaras, sistemas del edificio y aplicaciones. El costo de cambiar una categoría o rehacer un backbone después de la ocupación puede superar ampliamente el costo adicional de una especificación coherente durante el diseño. La cuestión económica consiste en elegir capacidad y flexibilidad proporcionales a la vida útil prevista, sin convertir requisitos futuros inciertos en sobredimensionamientos indiscriminados.

La metodología propuesta organiza la entrega en seis decisiones: **(1) base de requisitos y levantamiento; (2) arquitectura y dimensionamiento; (3) diseño de infraestructura e interfaces; (4) especificación y contratación; (5) verificación y certificación; (6) aceptación y transferencia a la operación**. Cada decisión tiene entradas, evidencias y criterios de preparación. El principio es evitar que la aceptación se limite a la frase «todos los puntos funcionan»: la supervisión debe demostrar el desempeño del sistema pasivo mediante el modelo de ensayo aplicable y preservar la correspondencia entre etiquetas, informes y planos.

Gate	Pregunta técnica	Evidencia mínima del método
G0 — Necesidad	¿Qué servicios, capacidades y condiciones operativas deben soportarse?	Programa de necesidades y matriz de sistemas
G1 — Arquitectura	¿Los distribuidores, la topología, las rutas y los medios cumplen los requisitos?	Diagrama, planos, matriz de enlaces y límites
G2 — Diseño	¿Están definidas las cantidades, interfaces, condiciones ambientales y criterios?	Proyecto básico/ejecutivo, detalles y memoria técnica
G3 — Contratación	¿La propuesta es comparable y verificable contractualmente?	Especificación, criterios de medición y plan de pruebas
G4 — Inspección	¿La instalación ejecutada corresponde al diseño aprobado?	Registros, inspecciones, correcciones y muestreo
G5 — Aceptación	¿Se han ensayado y documentado todos los enlaces exigidos?	Informes originales, as-built y acta técnica

La separación entre diseño, ensayo y operación evita tres confusiones. La primera: elegir la categoría de los cables no garantiza el desempeño de la aplicación, que depende también de la longitud, instalación, conectores y equipos. La segunda: una autoprueba satisfactoria de un equipo de red no sustituye la certificación del enlace. La tercera: la certificación del cableado no demuestra por sí sola la disponibilidad de un servicio extremo a extremo, porque no evalúa las configuraciones de la red activa, la alimentación, la seguridad lógica ni las aplicaciones. Cada capa exige sus propios criterios y responsables.

2. BASE NORMATIVA Y JERARQUÍA DE REQUISITOS

La norma aplicable debe seleccionarse según el tipo de entorno y el método de ensayo contratado. En el acervo técnico de A3A Engenharia se consultaron directamente las normas ABNT NBR 14565:2025, ABNT NBR 16869-1:2020, 16869-2:2021, 16869-3:2022, 16869-4:2023 y 16869-5:2024. Este conjunto abarca, respectivamente, la arquitectura de edificios comerciales; la planificación y calidad de la instalación; los ensayos de cableado óptico; las configuraciones especiales, incluido MPTL; la gestión automatizada de la infraestructura; y las redes ópticas pasivas.

La familia ISO/IEC 11801 proporciona una estructura internacional para el cableado genérico en instalaciones de clientes. Su parte 1:2017 recibió una enmienda durante 2025, relevante para el control documental de contratos nuevos. TIA publicó ANSI/TIA-568.2-E en noviembre de 2024 para cableado balanceado y ANSI/TIA-568.3-E en septiembre de 2022 para componentes ópticos. Estos documentos pueden integrar las referencias del proyecto, siempre que la memoria técnica indique la versión, la aplicación y la precedencia, sin combinar criterios de ensayo incompatibles.

Referencia	Objeto técnico	Aplicación al marco metodológico
ABNT NBR 14565:2025	Cableado estructurado de edificios comerciales	Arquitectura, categorías/clases, interfaces, configuración y ensayos
ABNT NBR 16869-1:2020	Planificación y aseguramiento de la calidad	Preparación, condiciones locales y alcance de instalación
ABNT NBR 16869-2:2021	Ensayos de cableado óptico	Fuente de luz, medidor de potencia, OTDR, limpieza y registros
ABNT NBR 16869-3:2022	MPTL, punto a punto y conexión directa	Definición del modelo específico de ensayo
ABNT NBR 16869-4:2023	Gestión automatizada de la infraestructura	Inventario, conectividad e integración AIM
ABNT NBR 16869-5:2024	Redes ópticas pasivas	Distribución, divisores ópticos, redundancia y ensayos ODN
ISO/IEC 11801-1:2017 + AMD1:2025	Requisitos internacionales genéricos	Interoperabilidad y matriz de referencias
ANSI/TIA-568.2-E; 568.3-E	Componentes balanceados y ópticos	Complementación técnica y criterios de mercado

Las normas de instalación, infraestructura civil, seguridad laboral, protección contra incendios, puesta a tierra e instalaciones eléctricas pueden aplicarse simultáneamente. La especificación debe identificar qué requisitos son legales, cuáles son normativos adoptados contractualmente, cuáles provienen de los fabricantes y cuáles constituyen decisiones de ingeniería del propietario. La expresión «cumplir con TIA» sin indicar el documento, la clase, el canal o el ensayo resulta insuficiente para una licitación técnicamente comparable.

La interpretación normativa debe respetar el alcance de cada instrumento. La norma de cableado pasivo no sustituye al diseño de la red lógica, al análisis de riesgo de continuidad operativa ni a los criterios de protección eléctrica. El proyecto puede establecer condiciones más exigentes por motivos de criticidad —por ejemplo, rutas físicamente diversas, márgenes de potencia óptica o mayor capacidad de expansión— siempre que respondan a los riesgos y queden documentadas como requisitos de desempeño, sin presentarlas incorrectamente como obligaciones universales de una norma.

2.1. CATEGORÍAS, CLASES Y APLICACIONES: EVITAR EQUIVALENCIAS INDEBIDAS

La categoría suele utilizarse para designar el desempeño de componentes metálicos, mientras que la clase se refiere al desempeño de enlaces y canales en determinados sistemas normativos. Los componentes de una misma categoría no garantizan un canal conforme si no se controlan las terminaciones, la longitud, la calidad de la instalación y las conexiones. Del mismo modo, mencionar una velocidad de 10 Gb/s no demuestra que un enlace instalado pueda soportar esa aplicación; importan la combinación del medio, el alcance, los parámetros de transmisión y la tecnología de interfaz.

En redes nuevas, la elección entre Categoría 6 y Categoría 6A debe basarse en las aplicaciones previstas, los requisitos de reserva, la densidad, la alimentación remota, el entorno electromagnético, las rutas físicas y el horizonte de sustitución. No conviene imponer Cat6A en cualquier lugar sin análisis, ni elegir Cat6 únicamente por el precio unitario cuando la evolución de los equipos exige mayor margen. Deben compararse el costo total instalado, la infraestructura, los conectores, las pruebas, las intervenciones futuras y la criticidad de la disponibilidad.

Cuando un edificio será ocupado por diferentes sistemas y equipos, el programa de requisitos no puede limitarse a una relación genérica de «puntos de red». La ingeniería debe definir los servicios, la potencia remota, la redundancia, la ubicación y el entorno antes de elegir la categoría del cable o los equipos. Esta separación reduce las incompatibilidades y preserva la libertad tecnológica del propietario.

Diseño de Telecomunicaciones e Infraestructura

3. LA NECESIDAD DEL PROPIETARIO Y LA DEFINICIÓN DEL ALCANCE

El programa de necesidades comienza con una relación de usuarios y sistemas que utilizarán la infraestructura: estaciones de trabajo, teléfonos, Wi-Fi, videovigilancia IP, control de acceso, automatización de edificios, interfonía, soluciones audiovisuales sobre IP y posible monitorización operativa. Cada familia presenta patrones distintos de ubicación, criticidad y evolución. Los puestos de trabajo pueden trasladarse sin reformas estructurales; las cámaras dependen de la cobertura y del campo de visión; los puntos de acceso dependen del diseño de radiofrecuencia; las controladoras pueden requerir alojamiento protegido y acondicionamiento ambiental.

La matriz de puntos debe vincular cada elemento de servicio con la cantidad de terminaciones, el medio, la clase requerida, la necesidad de PoE, los requisitos de disponibilidad, la ubicación física y las responsabilidades de diseño. Un dispositivo activo puede tener más de un puerto, alimentación externa o conectividad redundante; asumir un punto por equipo no siempre satisface los requisitos. La definición de capacidad debe acordarse con los especialistas de TI y sistemas de edificios y fijarse mediante una revisión controlada.

Tipo de servicio	Información por levantar	Impacto en la infraestructura
Área de trabajo	Número de puestos, crecimiento, telefonía y periféricos	Tomas, rutas y densidad de puertos
Wi-Fi corporativo	Ubicaciones según RF, interfaces y potencia del AP	MPTL/toma, categoría, PoE y conectividad
Videovigilancia IP	Cobertura, ubicación y consumo eléctrico	Rutas, protección ambiental y PoE
Control de acceso	Lector, controladora, cerradura y lógica de alimentación	Puntos independientes, alimentación y segregación
Automatización y BMS	Protocolos, controladores y redundancia	Medios, rutas, gabinetes y aislamiento
Sistemas críticos	Disponibilidad, recuperación y falla tolerada	Diversidad de rutas y dependencias
Expansión	Capacidad prevista y espacios disponibles	Reserva de fibras, puertos, ductos verticales y racks

Definir el alcance también significa indicar lo que no se incluirá. Un proyecto puede abarcar la infraestructura pasiva hasta la toma y excluir switches, latiguillos de usuario, antenas o configuración lógica. Otro contrato puede incluir conectividad integral y pruebas operativas. Si la memoria técnica no delimita suministro, conexión y aceptación, cada contratista tiende a presupuestar su propia interpretación y las propuestas dejan de ser equivalentes. Durante la evaluación, estas fronteras deben constar en la matriz de conformidad y no quedar ocultas en salvedades.

La expansión debe definirse a partir de escenarios, no de porcentajes arbitrarios. Prever reservas de puertos, fibras, espacio en racks y capacidad de canalizaciones puede resultar adecuado, pero cada porcentaje depende de la vida útil, la flexibilidad del inmueble, las previsiones de ocupación y los límites de costo. El dimensionamiento debe diferenciar la capacidad instalada desde el primer día, la reserva técnica para modificaciones previsibles y la infraestructura adicional condicionada a ampliaciones futuras. Así se evita pagar conectores y equipos ociosos cuando bastaría reservar capacidad en la infraestructura.

Este material se diferencia de los demás artículos del grupo: el artículo sobre las partes de la ABNT NBR 16869 explica los instrumentos normativos; el texto sobre PoE y clases de potencia profundiza en la alimentación remota; y el artículo sobre MPTL trata la configuración específica. Aquí el objetivo es integrar estos temas para que el proyecto pueda diseñarse, supervisarse y recibirse como un sistema único.

4. ARQUITECTURA FÍSICA: DISTRIBUIDORES, BACKBONE Y CABLEADO HORIZONTAL

Arquitectura de distribuidores para un edificio de tres plantas

La arquitectura jerárquica organiza la distribución física en subsistemas de campus, edificio y planta. Los términos distribuidor de campus (CD), distribuidor de edificio (BD) y distribuidor de planta (FD) representan funciones de conexión, no necesariamente salas diferentes en todos los proyectos. En un edificio pequeño, las funciones pueden concentrarse según el diseño; en un campus, su separación puede ser esencial para la modularidad y la gestión de fallas. El plano debe identificar explícitamente las funciones lógicas y la ubicación física, evitando aplicar una misma sigla indistintamente al gabinete, la sala, el panel de parcheo y el equipo activo.

El subsistema de backbone interconecta los distribuidores y debe prever capacidad, diversidad cuando sea necesaria, expansión y un tipo de fibra coherente con las interfaces. El cableado horizontal establece el recorrido entre el distribuidor de planta y la toma o punto de conexión previsto en la norma. La separación facilita los cambios: reconfigurar un puesto de trabajo no debería requerir intervenciones en el backbone, y modificar un switch no debería implicar sustituir el cableado permanente. La solución debe priorizar puntos de administración accesibles, rutas ordenadas e interfaces identificadas.

La elección entre interconexión y conexión cruzada afecta la flexibilidad operativa, la cantidad de latiguillos, la densidad y los posibles puntos de falla. La conexión cruzada puede facilitar las maniobras de administración en entornos complejos, pero exige mayor disciplina documental. La interconexión directa suele ser más sencilla. La decisión debe

identificar qué cambios de servicio se producen cotidianamente, quién opera los distribuidores y qué maniobras deben realizarse sin acceder a las áreas atendidas.

Elemento	Función en el sistema	Falla típica de especificación	Control de diseño
Distribuidor de campus	Agrupa enlaces entre edificios	Punto único sin evaluación de riesgos	Topología y criticidad del campus
Distribuidor de edificio	Distribución principal del edificio	Capacidad insuficiente para nuevas plantas	Reservas y rutas de expansión
Distribuidor de planta	Termina y administra el cableado horizontal	Gabinete elegido solo por cantidad de unidades U	Accesos, espacio, energía y refrigeración
Backbone	Conecta niveles de distribución	Ruta única compartida por servicios críticos	Medio, capacidad y diversidad
Horizontal	Da servicio a puntos y equipos terminales	Recorridos reales no verificados	Diseño de rutas y límites del enlace
Tomas y puntos terminales	Interfaz física de los servicios	Identificación ambigua y ubicación inaccesible	Coordenadas y código persistente
Latiguillos	Interconexiones operativas	Latiguillos sin desempeño compatible	Matriz de latiguillos y administración

4.1. TOPOLOGÍA LÓGICA Y DIVERSIDAD FÍSICA NO SON SINÓNIMOS

Un diagrama lógico con dos uplinks puede ocultar que ambos recorren la misma bandeja portacables, el mismo ducto vertical y el mismo acceso a la sala técnica. Existe redundancia de interfaz, pero no diversidad frente a causas físicas de falla. Si un siniestro local, una intervención civil o una falla en la canalización afecta la ruta común, ambos enlaces pueden quedar fuera de servicio. Para entornos críticos, la ingeniería debe distinguir la redundancia de equipos, fibras, cables, rutas, distribuidores y alimentación.

La diversidad física debe estudiarse según los escenarios de falla. En un edificio, dos rutas parcialmente separadas pueden volver a converger en una sala por falta de accesos; en un campus, el paso por ductos geográficamente distintos puede compartir el mismo cruce. El proyecto debe registrar los tramos comunes, puntos vulnerables y costo incremental de eliminarlos. No es correcto prometer un nivel «Tier» o alta disponibilidad únicamente porque existen dos fibras: la confiabilidad del servicio también depende de switches, alimentación, configuración y procedimientos de conmutación por falla.

La decisión también puede ser deliberadamente no redundante. Los puntos de oficina pueden tolerar interrupciones locales y no justificar dos rutas. En áreas de control de procesos, los requisitos de disponibilidad pueden demandar mayor segregación. La función de la matriz de criticidad es documentar por qué ciertos circuitos reciben diversidad y otros no, evitando tanto debilidades no asumidas como sobrecostos injustificados.

4.2. SALAS TÉCNICAS, RACKS Y DISPONIBILIDAD DE ESPACIO

La capacidad de un rack no se calcula únicamente por la cantidad de puertos. Deben considerarse la altura de los paneles de conexión, switches, organizadores horizontales y verticales, reserva de U, alojamiento de latiguillos, radio de curvatura, entrada de cables, ventilación, mantenimiento frontal y posterior, seguridad y condiciones de alimentación. En gabinetes pequeños, la densidad del cableado puede hacer inaceptable el mantenimiento aunque todavía queden unidades de rack libres.

Las salas de telecomunicaciones y de equipos deben coordinarse con arquitectura, electricidad, climatización (HVAC) y seguridad. La ABNT NBR 14565:2025 diferencia estas funciones; su aplicación práctica exige espacios accesibles para operaciones y mantenimiento, rutas de entrada e infraestructura necesaria. El dimensionamiento debe verificar si el espacio permite incorporar nuevos equipos y cuenta con condiciones físicas para ampliar la instalación sin redirigir toda la red. La temperatura de diseño debe basarse en los equipos realmente previstos y no en un valor genérico trasladado de otra instalación.

Un entorno crítico puede exigir también protección patrimonial, control de acceso, extinción de incendios compatible, detección de fugas o restricciones de proximidad con tuberías de agua e interferencias. La ingeniería no debe presumir que el cableado, por ser pasivo, queda aislado de esas disciplinas. La guía de infraestructura de redes contextualiza componentes y espacios; aquí el énfasis es convertir los condicionantes en criterios verificables de diseño.

5. SELECCIÓN DEL MEDIO FÍSICO: COBRE, FIBRA ÓPTICA Y LÍMITES DE LA APLICACIÓN

La elección entre cobre y fibra debe considerar simultáneamente el alcance, ancho de banda, inmunidad electromagnética, distribución de energía, topología, seguridad operativa, expansión y costo de implantación. El par trenzado balanceado ofrece ventajas para conectar gran parte de los dispositivos de borde y suministrar PoE. La fibra evita la conducción eléctrica por el núcleo óptico y ofrece capacidad y alcance adecuados para backbones e interconexiones, pero requiere transceptores, organización óptica, conectores y procedimientos específicos de inspección.

Los cables y conectores deben especificarse como un sistema. En redes metálicas, mezclar categorías o componentes incompatibles puede reducir el desempeño global al del elemento limitante y dificultar la certificación. En fibra, la elección de monomodo OS2 o multimodo OM3/OM4/OM5 depende de la aplicación, distancia y estrategia futura, no solo del precio por metro. La ingeniería debe comparar el costo integral de enlaces,

transceptores y equipos de ensayo, además de las exigencias de disponibilidad y evolución tecnológica.

Decisión	Cobre balanceado	Fibra óptica
Función predominante	Conexiones terminales, PoE, edificios	Backbone, interconexiones y enlaces especializados
Alimentación remota	Puede transportar energía mediante PoE en aplicaciones compatibles	Requiere alimentación independiente o una solución específica
Interferencia electromagnética	Requiere verificar la compatibilidad electromagnética y la instalación	El medio óptico es inmune a la interferencia electromagnética directa
Alcance	Limitado por la norma y la aplicación seleccionadas	Depende de la fibra, los módulos ópticos y el presupuesto de potencia
Terminación	Tomas, paneles de parcheo y configuraciones como MPTL	Distribuidores ópticos, conectores, empalmes y gestión de polaridad
Certificación	Parámetros eléctricos del enlace o canal	Atenuación, inspección y ensayos ópticos aplicables
Expansión	Capacidad de rutas y puertos	Reserva de fibras, rutas y distribución

5.1. ENLACE PERMANENTE, CANAL, MPTL Y CONEXIÓN DIRECTA

Un **enlace permanente** comprende la infraestructura fija entre el distribuidor y la toma, dentro de los límites del modelo adoptado; el **canal** también incorpora los latiguillos pertinentes al trayecto pasivo de extremo a extremo. Certificar un enlace permanente y cambiar posteriormente los latiguillos por otros de baja calidad no garantiza que el canal resultante cumpla el desempeño contratado. La especificación debe declarar qué configuración se instalará y ensayará, identificando los elementos incluidos en el resultado.

El *Modular Plug Terminated Link* (MPTL) resulta útil para ciertos dispositivos fijos conectados directamente mediante un conector macho, como cámaras y puntos de acceso, siempre que la configuración sea adecuada y los ensayos utilicen el adaptador y los límites correctos. La ABNT NBR 16869-3:2022 aborda expresamente MPTL, punto a punto y conexión directa; por ello, no es técnicamente correcto aplicar indiscriminadamente el mismo límite y adaptador de un enlace permanente tradicional. La decisión debe tomarse durante el diseño, no improvisarse durante la instalación.

El proyecto debe definir para cada punto si tendrá una toma convencional, MPTL u otra conexión permitida; identificar el componente de terminación, la protección ambiental, el mantenimiento y el procedimiento de sustitución del equipo. Para dispositivos instalados sobre falsos techos o en exteriores, deben verificarse el acceso seguro y las eventuales necesidades de envolventes, protección contra la humedad o mantenimiento con

intervenciones de menor impacto. La especialización termina cuando la interfaz es previsible y verificable, no cuando la obra aparenta haber ahorrado una toma.

La elección del medio físico y de la topología debe anticipar las interfaces con arquitectura, energía, climatización y operación. La revisión multidisciplinaria es especialmente útil cuando existen salas técnicas, recorridos compartidos, redundancia y PoE de mayor potencia, ya que los riesgos de implantación no se limitan a la disciplina de redes.

Ingeniería Multidisciplinaria — integración técnica de proyectos

6. INFRAESTRUCTURA DE CANALIZACIONES: DIMENSIONAR EL ESPACIO QUE NO APARECE EN EL DIAGRAMA LÓGICO

El desempeño del cableado puede verse comprometido antes de su terminación. La tensión excesiva, las curvas demasiado cerradas, el aplastamiento, las agrupaciones inadecuadas y el contacto con fuentes agresivas deterioran sus características físicas y eléctricas. El diseño de canalizaciones debe distinguir recorridos accesibles, ductos verticales, bandejas tipo escalera, bandejas portacables, conductos, cajas de paso, entradas de gabinetes y tramos exteriores. Deben verificarse la capacidad de ocupación, el mantenimiento, las ampliaciones futuras, la protección mecánica y la compatibilidad con los requisitos aplicables de seguridad y resistencia al fuego.

El índice de ocupación de una canalización no puede fijarse universalmente mediante un porcentaje arbitrario. Depende del tipo y las dimensiones de la canalización, el diámetro exterior de los cables, la demanda inicial, las ampliaciones futuras, la disipación térmica en agrupaciones PoE, el radio de curvatura y las reglas aplicables a la infraestructura. Utilizar la superficie disponible como único indicador no contempla el tendido efectivo en curvas ni la facilidad de sustituir o incorporar cables. Un conducto aparentemente suficiente en un tramo recto puede resultar impracticable después de tres cambios de dirección.

También conviene separar los recorridos de infraestructuras funcionalmente independientes. Un backbone redundante instalado en bandejas duplicadas deja de serlo si ambos circuitos comparten una misma caja de paso vulnerable. Las rutas de redes críticas no deberían atravesar indiscriminadamente áreas de mantenimiento pesado ni campos electromagnéticos relevantes sin un diseño de compatibilidad. El diseño de infraestructura de canalizaciones y bandejas portacables profundiza en los elementos civiles; el presente marco incorpora los criterios de verificación y aceptación de estos elementos.

Variable	Dato de entrada	Criterio de validación
Ocupación	Diámetro exterior y cantidad de cables	Superficie y capacidad según el sistema de canalización
Curvas	Radio y secuencia de desvíos	Posibilidad real de tendido y protección del cable
Acceso	Ubicación de cajas, ductos verticales y bandejas	Inspección, mantenimiento y ampliación
Segregación	Equipos de potencia y fuentes de EMC	Ruta y medidas compatibles con el análisis de riesgos
Entorno	Humedad, polvo, sol, agentes químicos y temperatura	Material y protección especificados
Reserva	Horizonte de expansión y escenario de ocupación	Capacidad disponible justificada
Seguridad	Sectorizaciones y pasos de instalaciones	Tratamiento de pasos y requisitos locales

En contratos de reforma, el levantamiento de campo debe identificar qué canalizaciones existentes pueden reutilizarse y bajo qué condiciones. Suponer que hay espacio en un ducto vertical sin inspeccionarlo es una premisa de riesgo; exigir infraestructura nueva en todas partes puede ser un desperdicio. La decisión necesita inventario, fotografías, mediciones y evaluación de las condiciones reales, integrando riesgos de interrupción, accesibilidad, protección contra incendios y restricciones operativas.

7. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA, BLINDAJE Y EQUIPOTENCIALIDAD

Los entornos corporativos e industriales combinan cables de potencia, convertidores electrónicos, variadores de frecuencia, motores, UPS, iluminación, telecomunicaciones y dispositivos de control. El cableado balanceado ofrece rechazo de interferencias gracias a su estructura, pero su inmunidad real depende de la calidad del enlace, del equilibrio eléctrico de los pares, de las condiciones de instalación y, cuando corresponda, de la integridad del blindaje y la puesta a tierra. Los problemas de compatibilidad electromagnética pueden no aparecer en una prueba funcional breve y manifestarse solamente cuando determinadas cargas eléctricas entran en funcionamiento.

La elección entre U/UTP, F/UTP, U/FTP y S/FTP debe considerar el nivel de perturbación, las rutas disponibles, las clases de aplicación, la continuidad del blindaje, la conectividad, la equipotencialidad y el mantenimiento. Elegir un cable blindado no corrige automáticamente una ruta inadecuada ni garantiza protección contra sobretensiones y diferencias de potencial. Si el proyecto no prevé terminaciones apropiadas y una estrategia de conexión, el blindaje puede convertirse en un costo adicional sin beneficio demostrado.

La ABNT NBR 14565:2025 contempla prácticas de blindaje y requisitos de puesta a tierra/equipotencialidad asociados al sistema. El diseño debe coordinarlos con la infraestructura eléctrica y los requisitos de seguridad de las personas y los activos. La especificación correcta diferencia la conexión funcional del blindaje, el conductor de protección y las medidas contra sobretensiones; las decisiones de interconexión no deben tomarse en obra por simple conveniencia del instalador. El análisis de EMC aplicado al cableado profundiza en los mecanismos de interferencia y mitigación.

Situación	Mecanismo potencial	Medida de ingeniería
Cables junto a variadores	Perturbación conducida/radiada y acoplamiento	Rutas, separación, blindaje y análisis EMC
Distribuidores en zonas industriales	Diferencias de potencial y sobretensiones	Equipotencialidad y protección coordinada
Combinación de conectores blindados y sin blindaje	Discontinuidad del blindaje	Especificación integral del sistema
Enlaces en exteriores	Sobretensiones, humedad y agentes físicos	Medio, envolventes, protección y transición adecuada
Alta densidad PoE	Aumento térmico en la agrupación	Modelización de temperatura y agrupación
Cables cerca de equipos térmicos	Degradación del desempeño y de la cubierta	Clasificación térmica y ubicación

8. POE Y DESEMPEÑO ELÉCTRICO: LA RED TAMBIÉN TRANSPORTA ENERGÍA

La alimentación a través del cableado balanceado permite instalar puntos de acceso, cámaras, teléfonos y dispositivos de automatización sin fuentes locales dedicadas, pero convierte el enlace en parte de un sistema de distribución de energía limitada. IEEE 802.3 define modalidades de alimentación por pares, negociación/clasificación y responsabilidades del PSE (equipo suministrador de energía) y del PD (dispositivo alimentado). La potencia requerida por el PD y el presupuesto nominal del PSE no son la misma magnitud: las pérdidas resistivas en los conductores, las reglas de clase y las reservas internas del equipo afectan a la planificación.

En términos prácticos, la ingeniería debe comprobar simultáneamente **la potencia por puerto, el presupuesto total del switch, la cantidad de puertos energizados al mismo tiempo, las características del cable y las condiciones térmicas de la agrupación**. Un switch cuya potencia nominal total parece suficiente puede no ofrecer la clase solicitada en un puerto determinado; un cable que supera la certificación de transmisión puede presentar resistencias o desequilibrios desfavorables para suministrar potencia. El cálculo no termina al multiplicar la cantidad de dispositivos por un valor de catálogo.

El diseño también debe contemplar la disponibilidad y las fallas de alimentación: si todas las cámaras dependen de un solo switch, este se convierte en un punto común de

interrupción. Disponer de una UPS en la sala no garantiza continuidad si las conexiones de parcheo, los cables o el PSE carecen de resiliencia. Deben documentarse las cargas críticas, la autonomía disponible y la estrategia de recuperación tras un corte, diferenciando la continuidad de la red física y la del sistema activo.

8.1. CÁLCULO PRELIMINAR DE CARGAS POE Y SUS LIMITACIONES

Un dimensionamiento inicial puede sumar de forma conservadora los consumos máximos de los PD indicados por los fabricantes y ajustarlos después según la clase de alimentación, la negociación y el presupuesto del PSE. Sin embargo, las cifras deben ser coherentes: las cámaras con iluminación infrarroja o calefacción pueden tener picos distintos del consumo diurno; los puntos de acceso multirradio pueden limitar funcionalidades si la alimentación es insuficiente; los dispositivos de puerta pueden presentar cargas transitorias de accionamiento. El dimensionamiento debe considerar el peor caso exigido contractualmente.

Parámetro	Pregunta por responder	Evidencia requerida
PD	¿Qué potencia necesita el equipo en el modo crítico?	Ficha técnica y perfil de consumo
PSE por puerto	¿La interfaz proporciona el tipo y la clase necesarios?	Especificación del switch y tabla por puerto
Presupuesto global	¿Cuál es la suma simultánea de dispositivos previstos?	Hoja de cálculo por gabinete/switch
Cable	¿Qué pérdidas y efectos térmicos son plausibles?	Categoría, sección del conductor, resistencia y agrupación
Disponibilidad	¿Qué dispositivos deben permanecer energizados?	Matriz de criticidad y UPS
Aceptación	¿Cómo demostrar la alimentación en condiciones desfavorables?	Prueba funcional bajo carga y registro de puertos

En el cableado de cobre, además de los parámetros de transmisión, interesan la resistencia de bucle y el desequilibrio resistivo entre conductores y pares. En pares de cobre de menor sección, la disipación puede ser relevante en agrupaciones densas. El análisis del calor generado debe considerar la temperatura ambiente, el número de cables energizados, las corrientes reales y las recomendaciones de los fabricantes. No basta con comprobar que un cable «es Cat6A»: la categoría por sí sola no garantiza la capacidad térmica en cualquier configuración.

Cuando el diseño utiliza tomas de telecomunicaciones cerca de ciertos dispositivos y MPTL en otros, la memoria técnica debe indicar qué canales llevarán alimentación, cómo se identificarán y qué ensayo se exigirá. La interpretación correcta de los resultados requiere seleccionar el límite normativo aplicable al enlace. Una prueba de transferencia de datos o un ping no sustituyen el ensayo de cableado ni demuestran el presupuesto de

potencia bajo carga.

9. BACKBONE ÓPTICO: CAPACIDAD, PÉRDIDAS, POLARIDAD Y CONTINUIDAD

El backbone debe dimensionarse según la capacidad de transmisión, la estrategia de puertos, el número de fibras operativas, las fibras de reserva, la ubicación de los distribuidores, la topología y la criticidad. Indicar únicamente «fibra monomodo de 12 hilos» no define qué se conectará en cada extremo, cuántas fibras se reservarán ni cómo se realizará la expansión. La asignación de fibras debe representarse en una matriz de conectividad que relacione cable, tubo, fibra, panel, puerto, transceptor y servicio, cuando corresponda.

La elección entre fibra monomodo y multimodo debe considerar la aplicación y sus límites ópticos. No se acepta un enlace solamente porque la fibra sea OS2 u OM4. La pérdida de inserción, la longitud, el tipo y cantidad de conexiones, los empalmes, las curvaturas, la polaridad, la reflectancia cuando resulte relevante y el margen de potencia de los transceptores determinan su idoneidad. Los enlaces previstos para una evolución tecnológica deben analizar la coexistencia entre la fibra instalada y los futuros módulos ópticos sin presumir una compatibilidad ilimitada.

El presupuesto de pérdidas ópticas debe elaborarse antes de la obra, con hipótesis explícitas sobre atenuación por kilómetro, pérdidas por conexión y empalme, longitud y margen de ingeniería. Los valores típicos de los proveedores pueden orientar el diseño, pero el límite de aceptación debe definirse según las referencias y componentes especificados. Una vez instalado, el enlace debe ensayarse con el método y el instrumento adecuados; los resultados deben compararse con el límite contratado, no con la impresión de que el enlace activo logró sincronizarse.

9.1. ENSAYO DE PÉRDIDA DE INSERCIÓN Y UTILIZACIÓN DEL OTDR

La ABNT NBR 16869-2:2021 trata los ensayos de cableado óptico, incluyendo fuente de luz y *medidor de potencia* (configuración LSPM), OTDR, calibración, limpieza y documentación. Estos instrumentos proporcionan perspectivas complementarias. La medición de pérdida de extremo a extremo mediante fuente y medidor permite demostrar la atenuación conforme al modelo de referencia contratado. El OTDR resulta especialmente útil para localizar y caracterizar eventos a lo largo del enlace, como empalmes, conectores o tramos con pérdidas elevadas. Una traza OTDR no debe utilizarse automáticamente en sustitución de todos los resultados LSPM cuando el contrato exige ensayos específicos.

La inspección y limpieza de los conectores deben preceder las mediciones y maniobras, siguiendo los procedimientos de seguridad óptica. Las interfaces contaminadas introducen pérdidas y reflectancia que pueden variar con las reconexiones y comprometer los resultados. El proyecto debe definir las condiciones de referencia, la longitud de onda, la configuración de los latiguillos de lanzamiento y recepción, la dirección o direcciones de prueba aplicables, la trazabilidad del instrumento y la identificación de los enlaces. Los resultados sin estos datos son difíciles de reproducir o auditar.

Ensayo óptico	Responde principalmente	Evidencia en el informe
Inspección de la cara del conector	¿La conexión está limpia y en condiciones adecuadas?	Registro de inspección y tratamiento
LSPM/OLTS	¿Cuál es la pérdida de inserción de extremo a extremo en la configuración medida?	Longitud de onda, límite, resultado y referencia
OTDR	¿Dónde se encuentran los eventos e irregularidades a lo largo de la fibra?	Traza, eventos, parámetros e interpretación
Polaridad	¿La conectividad sigue la arquitectura de transmisión?	Mapa de terminaciones y prueba correspondiente
Reflectancia/ORL cuando proceda	¿Existen reflexiones incompatibles con la aplicación?	Límite y método declarados
Continuidad e identificación	¿La fibra física corresponde al puerto previsto?	Matriz de fibras y etiquetado correspondiente

En redes ópticas pasivas con divisores, la ABNT NBR 16869-5:2024 incorpora aspectos de topología y ensayos de la ODN que no equivalen a un enlace punto a punto simple sin splitter. En entornos PON, la medición debe contemplar la arquitectura y las pérdidas de división; los resultados deben vincularse a los ramales y las longitudes de onda previstas. Estos criterios no deben trasladarse sin ajustes a backbones Ethernet convencionales.

Un backbone físicamente instalado puede seguir siendo inadecuado si no existe una relación verificable entre el mapa de fibras, el presupuesto óptico y los resultados de ensayo. La ingeniería de redes ópticas debe definir de antemano el objetivo del enlace y los criterios de certificación para detectar defectos antes de conectar sistemas críticos.

Diseño de Fibra Óptica y Redes Ópticas

10. ESTUDIO APLICADO: CABLEADO DE TRES PLANTAS EN UNA INSTALACIÓN CORPORATIVA CRÍTICA

Matriz ilustrativa de capacidad de enlaces por planta

Considérese un edificio corporativo hipotético de tres plantas, con actividades administrativas y un centro de operaciones que requiere continuidad de red para determinados dispositivos. El programa contempla 120 puestos de trabajo distribuidos

uniformemente, 24 cámaras IP, 12 interfaces de control de acceso/automatización y ocho puntos de acceso inalámbricos. En este ejercicio, la ingeniería decidió reservar dos tomas por puesto de trabajo y un enlace físico por cada dispositivo adicional. Las cifras son **supuestos didácticos, no un proyecto real, una referencia de mercado ni cantidades normativas obligatorias**.

El propósito del ejemplo no es afirmar que todos los puestos necesitan dos tomas; esta decisión depende de los dispositivos previstos y de las políticas de TI. El objetivo es demostrar un cálculo completo trazable desde la demanda hasta el diseño, la especificación de racks, los resultados de certificación y la aceptación. El diseño real requeriría planos, levantamiento de campo, análisis de rutas, ubicación según radiofrecuencia, cobertura de cámaras, lista de componentes y requisitos de seguridad.

10.1. DIMENSIONAMIENTO DE TOMAS Y DISTRIBUIDORES

Para 120 puestos de trabajo, dos tomas por puesto dan un total de **240 puntos**. Al añadir 24 cámaras, 12 interfaces de control/automatización y ocho puntos de acceso, se obtienen **284 puntos inicialmente requeridos**. El equipo establece, como supuesto de gestión de este ejemplo, una reserva del 25 % de posiciones de paneles de parcheo por planta. Esta reserva no significa que el proyecto deba instalar cables y tomas ociosos en la misma proporción: el diseño debe decidir por separado qué quedará efectivamente cableado, qué se reservará únicamente como capacidad de puertos y qué corresponderá a expansión futura de infraestructura.

Componente	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Total
Puestos de trabajo	40	40	40	120
Puntos por puesto (2 cada uno)	80	80	80	240
Cámaras IP	8	8	8	24
Control y automatización	4	4	4	12
Puntos de acceso	3	3	2	8
Puntos iniciales	**95**	**95**	**94**	**284**
Capacidad tras una reserva del 25 %	119	119	118	356
Paneles previstos de 24 puertos	5	5	5	15
Puertos efectivamente disponibles	120	120	120	360

Cada planta recibe cinco paneles de 24 puertos, lo que representa 120 posiciones por planta y 360 en el edificio. Las reservas por planta son de 25, 25 y 26 puertos,

respectivamente, lo que suma **76 posiciones sin ocupar el primer día**. Aunque el cálculo de un 25 % sobre 284 corresponde a 355 posiciones, el redondeo por planta y por múltiplos de 24 da 360. La reserva efectiva es, por tanto, aproximadamente un 26,8 % (76/284), valor que debe declararse como resultado del dimensionamiento modular.

La elección de cinco paneles de parcheo por planta no determina por sí sola el tamaño adecuado del rack. Deben considerarse organizadores, switches necesarios, distribuidores ópticos, espacio de parcheo, PDU, holguras y acceso para mantenimiento. Tampoco debe suponerse que cada puerto del panel dispondrá necesariamente de un puerto activo desde el primer día; el número de switches depende de la estrategia de ocupación, la sobresuscripción admitida para aplicaciones no críticas, la política operativa y la capacidad PoE.

10.2. ESTIMACIÓN DE LONGITUD DEL CABLEADO HORIZONTAL Y VERIFICACIÓN DE RUTAS

Como orden de magnitud preliminar, supóngase que los 284 enlaces tienen una longitud media de recorrido físico estimada en **42 metros por enlace**, a partir de un levantamiento conceptual de los planos. La multiplicación produce 11.928 metros de cable. El proyectista adopta provisionalmente un 10 % adicional para cuantificar el suministro y tendido, lo que da **13.120,8 metros**, redondeados a 13.121 metros. El factor del 10 % es un supuesto hipotético de estimación, no una tolerancia normativa, y no sustituye el cómputo detallado del diseño ejecutivo.

Cálculo	Expresión	Resultado
Puntos totales	240 + 24 + 12 + 8	284 enlaces
Longitud media de diseño	Hipótesis	42 m/enlace
Subtotal de cable	284 × 42	11.928 m
Margen hipotético de suministro	11.928 × 10%	1.192,8 m
Cantidad de planificación	11.928 + 1.192,8	13.120,8 m

Una longitud media de 42 metros no demuestra la conformidad de los enlaces más largos. El control debe calcular rutas individuales, especialmente los puntos alejados, los tramos verticales y las conexiones en áreas técnicas. En el modelo clásico de cableado balanceado utilizado en edificios comerciales, los valores habituales de referencia son 90 metros para el cableado horizontal permanente y hasta 100 metros para el canal, sujetos a la configuración y condiciones normativas de aplicación. Estos límites no deben aplicarse indistintamente a enlaces MPTL, enlaces especiales o aplicaciones con reducción de alcance. La decisión exige verificar el modelo de enlace y la edición de la norma efectivamente contratada.

Si un punto previsto se encuentra más allá del límite compatible con la arquitectura, no basta con comprar un cable de categoría superior y suponer que el problema desaparece. El equipo debe estudiar un nuevo distribuidor, una ruta más eficiente, fibra óptica u otra solución de conexión. Incorporar un rack y una sala técnica tiene repercusiones civiles, eléctricas, térmicas, contractuales y de mantenimiento. La ingeniería debe comparar el costo total de las alternativas.

10.3. CARGAS POE DE LOS DISPOSITIVOS Y DISTRIBUCIÓN POR PLANTA

Adóptese, exclusivamente para explicar el método, un consumo máximo por PD de **18 W por cámara, 25,5 W por AP y 12 W por interfaz de control/automatización**. Estos valores no corresponden automáticamente a la clase IEEE exigida al PSE, y el diseño real debería sustituirlos por las fichas técnicas de los equipos previstos, considerando las funciones de mayor consumo, pérdidas, puertos y escenarios de simultaneidad. Las estaciones de trabajo del ejemplo no se consideran cargas PoE.

Grupo de carga	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Total
8 cámaras por planta × 18 W	144 W	144 W	144 W	432 W
4 interfaces por planta × 12 W	48 W	48 W	48 W	144 W
Puntos de acceso × 25,5 W	76,5 W	76,5 W	51 W	204 W
Potencia agregada de los PD	**268,5 W**	**268,5 W**	**243 W**	**780 W**
Referencia preliminar + 20 %	322,2 W	322,2 W	291,6 W	936 W

El total de cargas máximas hipotéticas es de 780 W en los dispositivos; al añadir una reserva preliminar del 20 % sobre esa demanda, se obtienen 936 W como referencia agregada. **Este resultado no autoriza a especificar switches con un presupuesto nominal de exactamente 936 W.** Es necesario verificar el consumo en el PSE, las clases PoE por puerto, las pérdidas en el cableado, la simultaneidad, los mecanismos de asignación de potencia y la capacidad real por switch. Distribuir switches entre plantas también es una decisión relacionada con fallas comunes: los 322,2 W de referencia para una planta no deben tratarse como potencia contractual si un switch limita el suministro por puerto.

En la aceptación, muestrear únicamente dispositivos en reposo no demuestra el escenario de carga máxima. La supervisión puede exigir pruebas en condiciones representativas y evidencias de la configuración de puertos, eventos de asignación de potencia y comportamiento durante el reinicio. En sistemas críticos, el ensayo funcional debe considerar las consecuencias de la falla de UPS, la restauración y la posible priorización de

puertos, sin confundir la verificación de equipos activos con la certificación de los enlaces pasivos.

10.4. BACKBONE Y PRESUPUESTO ÓPTICO HIPOTÉTICO

La arquitectura contempla un distribuidor principal y tres distribuidores de planta. Para fines conceptuales, cada planta dispone de **dos rutas físicas evaluadas como diferentes**, cada una con un cable de 12 fibras monomodo OS2. El inventario del diseño comprende seis cables de 12 fibras, es decir, 72 fibras individuales que interconectan pares de distribuidores mediante rutas distintas. No son 72 «enlaces Ethernet activos»: cada aplicación puede utilizar una o varias fibras, y la conexión física debe registrarse por puerto y sentido de transmisión.

Supóngase que uno de los enlaces críticos tiene una longitud física de 180 metros. Para mostrar el presupuesto óptico, se adopta provisionalmente una pérdida de cable de 0,35 dB/km a la longitud de onda seleccionada, dos conexiones acopladas con pérdidas estimadas de 0,30 dB cada una y dos empalmes de 0,10 dB cada uno. El cálculo es **0,18 × 0,35 + 2 × 0,30 + 2 × 0,10 = 0,863 dB**. Los coeficientes son hipótesis didácticas y deben sustituirse por los valores, límites, métodos de referencia y componentes realmente previstos.

Elemento	Supuesto hipotético	Contribución a la pérdida
Fibra de 0,18 km	0,35 dB/km	0,063 dB
Dos conexiones acopladas	0,30 dB cada una	0,600 dB
Dos empalmes	0,10 dB cada uno	0,200 dB
Pérdida nominal de diseño	Suma de contribuciones	**0,863 dB**
Límite interno ilustrativo	1,20 dB	No es un límite ABNT universal
Margen nominal restante	1,20 − 0,863	0,337 dB

En el escenario se adoptó un objetivo interno ficticio de 1,20 dB, que proporciona un margen nominal de 0,337 dB frente al presupuesto calculado. Esto **no demuestra automáticamente** que el enlace cumpla los requisitos del transceptor Ethernet ni un límite de aceptación ABNT. La ingeniería real debe comparar el presupuesto completo de pérdidas con el máximo permitido por la aplicación y el método de medición correspondiente, además de evaluar tolerancias, condiciones de los componentes, longitud de onda, envejecimiento y disponibilidad de la ruta redundante. La supervisión medirá el enlace final y verificará los criterios contratados.

Las dos rutas también deben verificarse mediante inspección. Si ambas atraviesan el mismo pozo de entrada, la arquitectura contiene un punto de falla de causa común. El documento de diseño debe señalar esta excepción y someter al propietario la decisión de

aceptar, mitigar o corregir la convergencia. La redundancia no puede inferirse únicamente al contar cables y fibras.

10.5. TRAZABILIDAD DEL ESTUDIO DE CASO HASTA LA ACEPTACIÓN

A partir de la matriz de 284 enlaces, el diseño debe generar identificadores persistentes para cada toma, puerto de distribuidor, cable, ruta, tipo de terminación y ensayo. El inventario del backbone debe mapear seis cables, la ubicación de sus extremos, 72 fibras físicas, conectores, empalmes y función de cada ruta. Los 15 paneles de parcheo y los gabinetes deben tener códigos relacionados con los planos. Así, cuando falle una medición, la supervisión podrá identificar el elemento físico, el informe original, la ubicación y la responsabilidad de corrección.

Un informe de certificación que indique únicamente «aprobado» sin una identificación coherente no permite demostrar que el punto aprobado es el mismo que figura en el As Built. La política de nomenclatura debe establecerse antes del primer tendido. El caso demuestra que el valor de la ingeniería consultiva no radica en producir 284 cifras, sino en asegurar una cadena de coherencia entre la necesidad del usuario, el dimensionamiento, los materiales, la ejecución, los ensayos y la entrega.

11. INGENIERÍA DE CONTRATACIÓN: ESPECIFICAR EL DESEMPEÑO SIN IMPONER UNA TECNOLOGÍA

Los términos de referencia o la memoria técnica deben traducir los requisitos funcionales en especificaciones comparables: estándar normativo, categoría y clase exigidas, características constructivas, condiciones ambientales, interfaces, cantidades, canalizaciones, identificación, ensayos y entregables. Una lista de marcas o códigos comerciales no sustituye esta tarea. Siempre que exista una justificación técnica para requisitos de compatibilidad o estandarización, la motivación debe asociarse a un riesgo real del proyecto y a las reglas jurídicas y contractuales aplicables.

También es necesario distinguir **material, sistema instalado y servicio aceptado**. Comprar cables certificados por el fabricante no demuestra que un enlace instalado tenga desempeño suficiente. Una propuesta que anuncia «garantía de 25 años» puede ofrecer una condición comercial útil, pero la garantía no sustituye los informes de campo, el cumplimiento normativo ni la documentación técnica. Los pliegos deben exigir garantías proporcionales y verificables, sin crear barreras injustificadas a la competencia mediante criterios irrelevantes.

El alcance comercial debe identificar por separado el tendido, las terminaciones, las canalizaciones, las reparaciones civiles, los latiguillos, racks, distribuidores ópticos,

empalmes por fusión, ensayos, documentación, capacitación y garantías. Esta descomposición impide que una empresa obtenga la adjudicación con un precio aparentemente competitivo por haber excluido actividades indispensables. Para cada actividad, el instrumento debe definir la forma de medición, unidad, obligación de corrección y condición de pago, cuando lo exija el régimen contractual.

Ítem de especificación	Requisito operativo	Criterio de aceptación
Topología	Distribuidores, cables y rutas identificados	Planos y diagramas coherentes
Cobre	Categoría/clase y modelo de enlace definidos	Informe por enlace conforme al límite
Fibra	Tipo, capacidad, longitud de onda y pérdida máxima	Ensayos de inserción, trazas e identificación cuando se exijan
PoE	Cargas por puerto y presupuesto del PSE	Evidencia de soporte de la carga crítica
Infraestructura	Canalizaciones, materiales, ocupación y protección	Inspecciones y registro de conformidad
Documentación	Criterio de codificación, registros y versión	As Built coherente con el estado construido
Garantía	Cobertura del sistema y condiciones	Documento de garantía aplicable sin sustituir el ensayo

La evaluación técnica de las ofertas debe comparar las desviaciones: un licitante puede ofrecer componentes de la categoría solicitada pero excluir la certificación; otro puede proponer un cable óptico adecuado, pero sin diversidad de rutas; otro puede utilizar criterios de ensayo alternativos. Estas ofertas no son equivalentes solo porque todas indiquen «conforme a ABNT». La equiparación debe incluir una matriz ítem por ítem y respuestas fundamentadas, respetando los criterios previamente establecidos por el proceso de contratación.

El régimen de contratación también modifica el papel de la ingeniería del propietario. En un EPC, ciertas definiciones pueden desarrollarse por el contratista dentro de los límites contractuales; en una ejecución basada en un diseño definido, las modificaciones deben pasar por un procedimiento de aprobación. En ambos casos, los criterios de desempeño y aceptación no deben quedar indeterminados. La supervisión verifica lo contratado, pero no debe asumir informalmente la dirección técnica ni el diseño de la empresa ejecutora.

12. PLAN DE INSPECCIÓN Y ENSAYOS: DISTINGUIR FABRICACIÓN, INSTALACIÓN Y CERTIFICACIÓN

Flujo de verificación de instalación, certificación y aceptación

El plan de inspección y ensayos (PIT/ITP) debe elaborarse antes del tendido de cables, con puntos de verificación, responsables y criterios que puedan demostrarse. Durante la

recepción de materiales se comprueban especificaciones, procedencia, lotes, integridad de embalajes e idoneidad de los componentes. Durante la ejecución se verifican las rutas, los soportes, las curvas, la segregación, la protección y la identificación. Después de la terminación se exigen ensayos de los enlaces, corrección de fallas, documentación y revisión de entrega.

En servicios críticos, el PIT puede establecer *hold points* antes de ocultar tramos o cerrar ductos verticales. Este mecanismo impide cubrir una instalación sin inspeccionar condiciones que posteriormente quedarán inaccesibles. El *witness point* permite presenciar un ensayo o una actividad relevante sin imponer la suspensión automática de todo el proceso. La elección depende del impacto, la accesibilidad futura y la capacidad de rastrear las evidencias; no conviene convertir cada tendido en un procedimiento que paralice la obra sin beneficio técnico.

Fase	Verificación	Registro exigible
Preinstalación	Documentos presentados para aprobación, lotes, especificación y plan de rutas	Aprobación de materiales y métodos
Canalizaciones	Fijación, ocupación, segregación, protección y acceso	Lista de verificación y registro fotográfico por tramo
Tendido	Tracción, curvas, integridad e identificación	Informe de inspección y desviaciones
Terminación	Secuencia, conectores, reserva técnica y organización	Inspección visual y actualización del inventario
Certificación de cobre	Mapa de cableado, parámetros de transmisión y límite correcto	Archivo original por enlace y resultado
Ensayos ópticos	Limpieza, referencia, medición y eventos	Resultados por fibra y sentido requerido
Entrega	As Built, pendientes, garantía y material de operación	Expediente y dictamen de preparación

12.1. CERTIFICACIÓN DE COBRE: POR QUÉ IMPORTA CADA PARÁMETRO

En los enlaces balanceados, la certificación debe utilizar instrumentos apropiados, adaptadores correctos y límites coherentes con la categoría/clase y la configuración contratada. Entre los parámetros relevantes pueden figurar el mapa de cableado (*wiremap*), la longitud, la pérdida de inserción, la pérdida de retorno, la diafonía de extremo cercano (NEXT), métricas combinadas como PSNEXT y parámetros relacionados con la diafonía en el extremo lejano, el retardo de propagación y la diferencia de retardo. Según la norma y la finalidad del enlace, pueden requerirse características de resistencia y desequilibrio.

Es incorrecto seleccionar un único parámetro para declarar conformidad. Una prueba de continuidad identifica numerosas fallas de conductores, pero no demuestra NEXT ni pérdida de retorno; un enlace Ethernet que negocia 1 Gb/s no evidencia margen suficiente para aplicaciones más exigentes. El certificador debe registrar la norma y el límite seleccionados, número de serie, calibración, configuración, identificación del enlace, valor medido, límite y resultado. Cuando el instrumento presenta un resultado marginal, la política de aceptación debe definir cómo analizar la incertidumbre y el margen, sin convertir una interpretación subjetiva en un «aprobado».

Repetir el ensayo hasta que aparezca «PASS» no es un procedimiento de ingeniería. Si el primer ensayo falla, debe investigarse la causa, registrar la corrección, identificar el componente sustituido y generar un nuevo informe con historial. Las fallas recurrentes por planta o lote exigen revisar el método de terminación, el radio de curvatura, las herramientas y el material, y no limitarse a corregir puntos aislados. La certificación de redes estructuradas merece un análisis operativo detallado; en este marco, su finalidad es sustentar un acto de aceptación trazable.

12.2. CERTIFICACIÓN DE FIBRA: EVIDENCIA ÓPTICA Y TRAZABILIDAD

En fibra, el plan debe especificar la ventana de medición, el método de referencia, la inspección de conectores, la configuración de lanzamiento y recepción, los límites de pérdida, la necesidad de OTDR y las reglas documentales. La ABNT NBR 16869-2:2021 distingue los instrumentos y sus aplicaciones, incluidas las condiciones de limpieza y los registros de resultados marginales. La supervisión debe verificar que el equipo de ensayo, sus latiguillos y la configuración representan el método contratado; una medición aislada sin referencia clara pierde valor probatorio.

Si la empresa instaladora entrega únicamente una hoja de cálculo manual con valores redondeados y sin archivos nativos del instrumento, se perjudica la trazabilidad. Los pliegos pueden prever la entrega de los resultados originales en formato exportable, vinculados a cada fibra, además de un resumen ejecutivo y las trazas OTDR, cuando correspondan. La política de reinspección debe indicar quién selecciona las muestras de contraprueba, cómo se tratan las discrepancias y qué porcentajes se aplican en caso de fallas por lote.

En sistemas con múltiples rutas, ensayar solo la ruta principal invalida la finalidad de la diversidad: las fibras de reserva y los caminos secundarios pueden presentar problemas no detectados hasta una emergencia. El plan de ensayos debe cubrir las fibras incluidas en el alcance contratado, incluso las de reserva que deben entregarse utilizables. La matriz de fibras será la referencia para demostrar la integridad de la entrega, sin confundir el

número de fibras con la cantidad de ensayos por dirección o longitud de onda.

La aceptación del cableado es una decisión basada en evidencias, no una visita para contar puntos instalados. Cuando inspección, certificación, documentación y corrección de no conformidades se integran contractualmente, la evaluación independiente puede diferenciar una infraestructura físicamente terminada de una infraestructura técnicamente lista para operar.

Comisionamiento y Aceptación Técnica — asesoría especializada

13. AS BUILT, INVENTARIO Y GESTIÓN DEL CICLO DE VIDA

La entrega no termina con el certificado. Las operaciones futuras dependen de planos actualizados, identificación normalizada, diagramas de distribuidores, mapa de conexiones de parcheo, relación de fibras, reservas, modificaciones aprobadas e instrucciones de mantenimiento. Cada enlace debe tener un identificador único y persistente, coherente entre la etiqueta física, el informe de ensayo, la base de datos y el plano. El número de puerto del switch no debe confundirse con el código permanente de la terminación pasiva, ya que los switches y sus conexiones pueden sustituirse o cambiar de ubicación.

La ABNT NBR 16869-4:2023 introduce el contexto de los sistemas automatizados de gestión de la infraestructura de telecomunicaciones, redes y TI (AIM), con énfasis en la documentación y uso de la información, integridad de los registros, gestión de capacidad, cambios e integración con sistemas de TI y DCIM. La adopción de AIM no es necesaria para todos los edificios, pero su lógica reafirma un principio universal: un inventario fiable es un activo operativo y debe tener gobernanza.

Una CMDB, un DCIM, un sistema AIM o un repositorio técnico solo aporta valor si los datos de campo son correctos. El descubrimiento de equipos activos puede identificar un switch y sus puertos, pero no necesariamente revela el recorrido físico, la condición de las fibras de reserva ni los empalmes ocultos. La arquitectura de datos debe permitir reconstruir la conectividad pasiva independientemente del estado momentáneo de los dispositivos activos. En operaciones de gran escala, esto reduce el tiempo de diagnóstico y evita maniobras indebidas durante incidentes.

Registro	Identificador mínimo	Uso operativo
Toma/terminación	Edificio, piso, sala y punto	Ubicar usuario o dispositivo
Puerto de panel	Distribuidor, rack, panel y puerto	Realizar correctamente las conexiones de parcheo
Cable metálico	Identificador y recorrido	Rastrear sustituciones e inspecciones

Registro	Identificador mínimo	Uso operativo
Cable óptico	Origen, destino, ruta y capacidad	Controlar diversidad y expansión
Fibra individual	Cable, tubo/fibra y extremos	Mapear transceptores y ensayos
Ensayo de campo	ID del enlace, límite, fecha e instrumento	Demostrar conformidad
Modificación	Orden, motivo, responsables y revisión	Preservar As Built y capacidad

El mantenimiento debe incluir gestión de cambios y una periodicidad de revisión documental proporcional al entorno. Una intervención sencilla de parcheo puede modificar la conectividad sin cambiar los cables; una reforma puede sustituir rutas y exigir ensayos de los tramos afectados. El inventario debe registrar ambos casos con criterios de verificación diferentes. Mantener archivos PDF inmutables sin controlar la infraestructura en operación convierte el As Built en una fotografía histórica, insuficiente para la gestión operativa.

14. AUDITORÍA Y PROJECT ASSURANCE DEL CABLEADO ESTRUCTURADO

La revisión independiente evalúa no solo la conformidad de las mediciones, sino también la coherencia entre la infraestructura entregada y el propósito contratado. Su alcance puede comprender desde la validación del diseño hasta el muestreo independiente de ensayos, la revisión de los procedimientos de certificación y la emisión de un dictamen de entrega. La independencia debe ser técnica y funcional: cuando una misma empresa instala, prepara los resultados y aprueba sin una evaluación de contraste, existe riesgo de sesgo, especialmente bajo presión de plazos.

La auditoría puede clasificar los hallazgos según sus consecuencias: **crítico** cuando impide cumplir requisitos esenciales de seguridad, disponibilidad o funcionamiento; **mayor** cuando compromete la conformidad, capacidad de expansión o trazabilidad de una parte significativa; **menor** cuando la deficiencia documental o de terminación tiene consecuencias reducidas y un plan de corrección definido. Esta clasificación es una propuesta de gestión, no una clasificación normativa obligatoria. El resultado debe indicar el criterio incumplido, las evidencias, los puntos afectados y la medida correctiva verificable.

Un dictamen de «listo para aceptación» exige que el conjunto de ensayos contratados esté completo o que las excepciones sean aprobadas formalmente por la autoridad competente. La aceptación con reservas no debe ocultar enlaces críticos reprobados, discrepancias de especificación sin resolver ni resultados marginales sin tratamiento. Si hay una pendiente sin impacto inmediato, el responsable de recepción puede evaluar condiciones de corrección, garantías y retenciones conforme al contrato; el consultor

aporta el análisis técnico, sin sustituir la autoridad decisoria.

14.1. INDICADORES DE PREPARACIÓN, NO SOLO DE PRODUCCIÓN

El control ejecutivo puede monitorizar la proporción de enlaces con documentación completa, ensayos aprobados respecto del total contratado, no conformidades abiertas por criticidad, discrepancias entre As Built y campo, rutas redundantes verificadas y pendientes de integración. La gestión no debe reducirse a la cantidad de puntos terminados por semana: la producción física y la preparación para la aceptación son indicadores distintos. En proyectos con 284 enlaces, tener 284 tomas instaladas y solo 250 informes aprobados significa que existe una brecha de documentación y verificación, aunque todos los dispositivos conectados aparenten funcionar.

Los indicadores solo son útiles cuando se vinculan con decisiones. Una tasa elevada de rechazo concentrada en un piso puede justificar la inspección integral del lote y la revisión de la técnica de instalación. La ausencia de trazas de la fibra secundaria puede impedir aceptar el requisito de redundancia. Una discrepancia puntual de identificación puede requerir una corrección documental sin que necesariamente haya que volver a medir el enlace; en cambio, un cambio de conectores o una modificación física obliga a evaluar la necesidad de repetir el ensayo. La gobernanza debe definir previamente qué resultados exigen intervención, contraprueba y actualización documental.

Indicador de entrega	Fórmula de gestión	Condición de interpretación
Cobertura de certificación	Enlaces con informe válido ÷ enlaces exigidos	El denominador debe corresponder al contrato
Tasa de no conformidad	Enlaces reprobados ÷ enlaces ensayados	Separar inspección inicial y reinspecciones
Backbone comprobado	Fibras con ensayo exigible ÷ fibras contratadas	Diferenciar rutas, longitudes de onda y métodos
Pendientes críticos	Cantidad de NCR críticos sin cerrar	Controlar antigüedad y consecuencias
Conciliación documental	Enlaces con ID coherente ÷ enlaces entregados	Confirmar campo, informes e inventario
Cumplimiento de diversidad	Rutas críticas verificadas ÷ rutas previstas	Inspección física, no solo planos

La verificación independiente debe movilizarse antes del cierre de la obra. Si la revisión comienza únicamente cuando todos los falsos techos están cerrados, se pierden oportunidades de detectar desviaciones de infraestructura e instalación. El apoyo de ingeniería del propietario puede acompañar los gates de diseño, inspección, evidencias y aceptación sin transferir al consultor las obligaciones ejecutivas del contratista.

Ingeniería del Propietario — gobernanza y verificación técnica

15. CONSIDERACIONES FINALES

El cableado estructurado debe tratarse como **una infraestructura de ingeniería con requisitos propios de desempeño, disponibilidad, mantenimiento y evidencia**, y no como un insumo accesorio de una obra de TI. Una instalación puede parecer funcional y, aun así, presentar fallas de diseño, márgenes insuficientes, canalizaciones compartidas no contempladas, sistemas de alimentación incompatibles o documentación incapaz de respaldar el mantenimiento futuro. El problema deja de ser exclusivamente técnico cuando el propietario desconoce estas limitaciones en el momento de la aceptación.

La ABNT NBR 14565:2025 y la serie ABNT NBR 16869 proporcionan una base coherente para estructurar el alcance, los métodos de ensayo y la documentación. Sin embargo, el valor de la ingeniería se manifiesta al convertir estas referencias en decisiones proporcionales a la criticidad: qué arquitectura será resiliente, dónde se necesita diversidad física, cómo dimensionar el cobre y la fibra, qué riesgos asociados a PoE o EMC son aceptables, qué actividades requieren inspección antes de quedar ocultas y qué constituye una prueba suficiente de entrega. No existe un único modelo de instalación ideal para todos los edificios.

El criterio final de calidad no debe ser la cantidad de tomas instaladas, sino la **correspondencia demostrable entre la necesidad, el diseño, la infraestructura instalada, los ensayos, la identificación y la documentación del estado construido**. Cuando se conserva esta cadena, el proyecto puede recibir, operar y modificar su red con menor incertidumbre. Cuando se rompe, los certificados aislados y los diagramas genéricos crean una apariencia de control sin capacidad para demostrar la conformidad. La decisión técnica responsable consiste en hacer verificable cada eslabón antes de considerar que el sistema está listo.

Sobre a A3A Engenharia de Sistemas

Com 30 anos de história, a A3A Engenharia de Sistemas se consolidou como referência em serviços de Engenharia, oferecendo soluções integradas de Telecomunicações, Segurança Eletrônica, Segurança Digital e Instalações Elétricas.

A empresa atua em todas as etapas do ciclo de Engenharia, desde a elaboração de projetos e consultoria técnica até a implantação, manutenção e retrofit de sistemas, sempre em conformidade com as normas técnicas e melhores práticas do setor.

© 2026 - A3A Engenharia de Sistemas.

Este documento é de propriedade da A3A Engenharia de Sistemas e seu conteúdo tem caráter exclusivamente informativo. Reservamo-nos o direito de inserir modificações sem aviso prévio.

A3A® Engenharia de Sistemas