

DISEÑO DE SOLUCIÓN DE ÚLTIMA MILLA PARA UN *CALL CENTER* UBICADO
EN MONTEGO BAY, JAMAICA

KAREN SOFÍA RODRÍGUEZ FLÓREZ

Trabajo de grado

Director

Ing. Gerald Breek Fuenmayor Rivadeneira

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE TELECOMUNICACIONES Y REGULACIÓN TIC
BOGOTÁ D.C
2026

Dedico este trabajo principalmente a mis padres, por ser mi mayor apoyo durante todo este proceso. Gracias por su esfuerzo, paciencia y por acompañarme en cada etapa de mi formación, incluso en los momentos más difíciles.

A ustedes les debo gran parte de lo que soy hoy porque nunca dejaron de creer en mí, de motivarme y de enseñarme la importancia de seguir adelante con dedicación y compromiso.

Este logro también es suyo, ya que detrás de cada meta alcanzada siempre estuvo su amor, sus consejos y el sacrificio que hicieron para ayudarme a cumplir mis sueños.

Con mucho cariño y gratitud.

AGRADECIMIENTOS

Primero, agradezco a Dios por acompañarme durante todo este proceso, por darme fortaleza, sabiduría y la oportunidad de alcanzar una meta tan importante en mi vida profesional y personal.

A mis padres, gracias infinitas por todo el amor, esfuerzo y apoyo incondicional que me han brindado siempre. Gracias por cada sacrificio, por creer en mí incluso cuando yo dudaba y por motivarme a seguir adelante en los momentos difíciles. Ustedes han sido mi mayor ejemplo de perseverancia, dedicación y fortaleza, y gran parte de lo que he logrado se lo debo a las enseñanzas y valores que me han transmitido a lo largo de mi vida.

Ustedes son mi mundo y mi mayor inspiración. No existen palabras suficientes para expresar todo el agradecimiento que siento por cada oportunidad, cada consejo, cada apoyo y cada muestra de amor que me han dado. Este logro también les pertenece a ustedes, porque detrás de cada paso que he dado han estado acompañándome, impulsándome y creyendo en mí incondicionalmente.

A mi familia, por estar siempre presente, por su cariño, comprensión y por cada gesto de apoyo que me impulsó a continuar y no rendirme durante este proceso. Agradezco especialmente a mi primo Nicolás, a mi querida Wendy, a mi tía Lucía, a Nancy y a mi primo Brayan, por su interés constante, su preocupación sincera y por brindarme apoyo tanto técnico como emocional a lo largo de mi carrera. Sus palabras de aliento, su confianza en mis capacidades y su compañía en los momentos más difíciles fueron fundamentales para alcanzar esta meta.

A Mario, gracias por haber creído siempre en mis capacidades, por motivarme constantemente y por brindarme apoyo, paciencia y ayuda durante este camino. Tus palabras y acompañamiento fueron muy importantes en este proceso.

También agradezco a mis docentes, quienes compartieron sus conocimientos, orientación y experiencias a lo largo de mi formación académica, contribuyendo significativamente a mi crecimiento profesional.

Y, finalmente, a mi perrito. Por acompañarme en tantas noches largas, en momentos de estrés y dificultad, convirtiéndose en una compañía silenciosa pero muy especial durante todo este proceso.

A todos, muchas gracias por haber sido parte de este logro tan importante en mi vida.

CONTENIDO

ACRÓNIMOS	6
RESUMEN	7
<i>Keywords: Last-mile, network redundancy, high availability, fiber optics, call center.</i>	7
1 INTRODUCCIÓN	8
1.1 OBJETIVOS	9
1.2 ALCANCE	9
1.3 METODOLOGÍA	10
2 MARCO REFERENCIAL	14
2.1 MARCO CONCEPTUAL	14
2.2 MARCO TEÓRICO.....	16
2.3 ESTADO DEL ARTE.....	17
2.3.1 Antecedentes nacionales.	17
2.3.2 Antecedentes internacionales.	18
3 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN DE ÚLTIMA MILLA REDUNDANTE	21
3.1 IDENTIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA Y REQUERIMIENTOS DE INTERCONEXIÓN	21
3.1.1 Introducción.	21
3.1.2 Identificación de la infraestructura disponible de Liberty Networks.	21
3.1.3 Requerimientos del cliente.....	22
3.1.4 Requisitos de la solución.	23
3.1.5 Matriz de trazabilidad.....	24
3.1.6 Análisis de alternativas tecnológicas.....	26
3.2 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN DE ÚLTIMA MILLA REDUNDANTE	27
3.2.1 Introducción.	27
3.2.2 Arquitectura propuesta de red.....	28
3.2.3 Diseño de rutas de fibra óptica.....	38
3.2.4 Diseño lógico de la solución.....	39
3.2.5 Mecanismos de redundancia y protección	40
3.2.6 Equipos y elementos de red.....	41

3.2.7 Validación técnica del diseño.	42
3.3 Validación de la solución mediante método Delphi	44
3.3.1 Selección de expertos.	44
3.3.2 Aplicación del instrumento de evaluación.....	44
3.3.3 Validación técnica del diseño.	44
3.3.4 Análisis de resultados.....	45
RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS.....	48
ANEXO A.....	52
ANEXO B.....	55
LISTA DE TABLAS	59
LISTA DE FIGURAS.....	59

ACRÓNIMOS

BPO	Business Process Outsourcing
FTTH	Fiber To The Home
HA	High Availability (Alta Disponibilidad)
ISP	Internet Service Provider
LAN	Local Area Network
MPLS	Multiprotocol Label Switching
NOC	Network Operations Center
OLT	Optical Line Terminal
ONU	Optical Network Unit
POP	Point of Presence
QoS	Quality of Service
SLA	Service Level Agreement
SNMP	Simple Network Management Protocol
TI	Tecnologías de la Información
WAN	Wide Area Network
Working/Stand-by	Configuración de redundancia principal/respaldo
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
IP	Internet Protocol
VPN	Virtual Private Network
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
FO	Fibra Óptica
UPS	Uninterruptible Power Supply
KPI	Key Performance Indicator
LTE	Long Term Evolution

RESUMEN

El presente trabajo se enfoca en el diseño de servicios de telecomunicaciones críticos para entornos empresariales, específicamente para un centro de atención al cliente - *call center* ubicado en la ciudad de Montego Bay, Jamaica. Por ello, el objetivo de esta investigación se centró en el diseño de una infraestructura de última milla redundante que permitiera mejorar la calidad del servicio prestado por el *call center*, cuya operación depende de una conexión a internet continua y confiable, a partir del servicio de conectividad provisto por la empresa Liberty Networks. Con base en lo anterior, se llevó a cabo un estudio de caso con enfoque descriptivo, apoyado en la metodología de diseño de ingeniería; desarrollada en fases de análisis, diseño y documentación. Como resultado del estudio, se logró obtener un diseño técnico de doble última milla en fibra óptica, con alta disponibilidad y conmutación ante fallas, validado mediante criterios técnicos del proveedor. Así, se concluyó que un diseño adecuado de redundancia en la última milla contribuye de forma directa a garantizar la continuidad operativa y el cumplimiento de los niveles de calidad del servicio en entornos críticos como los *call centers*.

Palabras clave: Última milla, redundancia de red, alta disponibilidad, fibra óptica, *call center*.

ABSTRACT

This research is developed within the context of designing critical telecommunications services for enterprise environments, specifically for a call center located in Montego Bay, Jamaica, whose operation depends on continuous and reliable Internet connectivity. The purpose of this study is to design a redundant last-mile infrastructure aimed at improving the quality of service provided by the call center, based on the connectivity service delivered by Liberty Networks. The methodology corresponds to a descriptive case study, supported by an engineering design approach developed through analysis, design, and documentation phases. As a result, a technical design of a dual fiber-optic last-mile solution with high-availability and failover mechanisms is obtained and validated through simulation and provider technical criteria. The main conclusion establishes that an appropriate redundant last-mile design directly contributes to ensuring operational continuity and compliance with service quality levels in critical environments such as call centers.

Keywords: Last-mile, network redundancy, high availability, fiber optics, call center.

1 INTRODUCCIÓN

La operación de organizaciones donde los procesos productivos necesitan de la conectividad a internet, como los *call centers*, depende de la disponibilidad y la calidad de los servicios de telecomunicaciones. En estos centros de atención al cliente, su dinámica operativa se basa en plataformas de comunicación en tiempo real, sistemas de voz sobre IP, aplicaciones en la nube y gestión continua de datos. De ese modo, para entornos como la ciudad de Montego Bay, en donde coinciden múltiples factores técnicos y ambientales, es imprescindible contar con una infraestructura de telecomunicaciones confiable, pues se convierte en una necesidad estratégica para garantizar la continuidad del servicio.

Durante el análisis del entorno de conectividad del cliente Teleperformance, se evidenció una ausencia de redundancia en la conexión de última milla, lo cual genera interrupciones frecuentes que afectan la calidad del servicio ofrecido a sus clientes. Esta situación presenta una problemática directa para el *call center*, dado que produce pérdidas operativas y compromete el cumplimiento de los acuerdos del nivel de servicio. Estas circunstancias justifican la necesidad de diseñar una solución que incremente la disponibilidad y resiliencia del servicio de internet provisto por Liberty Networks para Teleperformance.

Con el fin de dar respuesta a esta problemática, el objetivo general del trabajo consiste en diseñar una infraestructura de última milla redundante, basada en fibra óptica, que garantice alta disponibilidad mediante mecanismos de conmutación y continuidad operativa. La solución propuesta en este trabajo evalúa diferentes alternativas de diseño y la definición de una arquitectura técnica adecuada a las condiciones del entorno y a los requerimientos del cliente.

El estudio demuestra que un diseño adecuado de redundancia en la última milla permite mejorar de manera directa la calidad del servicio que el *call center* presta a sus usuarios finales, lo que fortalece la estabilidad operativa y el cumplimiento de los niveles de servicio. Para llegar a esta conclusión, la investigación se desarrolló con base en el análisis del contexto, el diseño técnico, la simulación del comportamiento de la red y la documentación de la solución, abordando de forma estructurada cada una de estas etapas.

El principal aporte de este estudio radica en la aplicación práctica de criterios de ingeniería de telecomunicaciones para el diseño de soluciones de conectividad crítica, generando un modelo de referencia que puede ser aplicado en escenarios

similares del sector BPO y fortaleciendo el vínculo entre la teoría académica y la realidad operativa de los proveedores de servicios de telecomunicaciones.

1.1 OBJETIVOS

Diseñar la conexión de última milla redundante para proveer un servicio de internet entre Liberty Networks y el cliente, que procure alta disponibilidad mediante configuración *Working/Stand-by* sobre fibra óptica.

- Analizar los requerimientos del cliente y proveedor para la conexión de última milla, para identificar los requisitos técnicos de la solución.
- Definir la arquitectura de red y tecnología de transmisión para las dos rutas de fibra óptica que cumplan con los requisitos establecidos.
- Validar la solución diseñada mediante la consulta a expertos utilizando el método Delphi, con el fin de verificar el cumplimiento de los requisitos técnicos, funcionales y de calidad definidos para el proyecto.

1.2 ALCANCE

El proyecto tiene como alcance el diseño de una solución de conectividad de última milla redundante para el *call center* Teleperformance, ubicado en Montego Bay, Jamaica, utilizando infraestructura de fibra óptica suministrada por Liberty Networks. Para ello, este estudio analiza los requerimientos técnicos del cliente y del proveedor, define la arquitectura de red, diseña dos rutas redundantes de fibra óptica bajo una configuración *Working/Stand-by* y realiza la validación técnica de la solución propuesta mediante criterios de disponibilidad y continuidad del servicio.

Se incluyen las etapas de planificación, diseño, pruebas y documentación técnica de la solución, contemplando la interconexión entre la red del cliente y la infraestructura de Liberty Networks. La finalidad es entregar una propuesta técnica documentada que permita garantizar alta disponibilidad y capacidad de recuperación ante fallas en la última milla del servicio de internet. El alcance del proyecto alcanza su límite en las etapas de diseño y de validación técnica de la solución, de manera que no se incluye la implementación física, la instalación de equipos, la ejecución de obras civiles ni la puesta en operación comercial del servicio.

1.3 METODOLOGÍA

Este trabajo corresponde a una investigación tipo estudio de caso, con un enfoque cualitativo y descriptivo. Se empleará la metodología de diseño de ingeniería la cual es basada en tres fases: análisis, diseño y documentación. Se consultarán fuentes técnicas, documentación de Liberty Networks y referencias académicas.

La población considerada en este proyecto está conformada por los actores que participan directamente en el proceso de diseño, análisis y validación conceptual de la solución de conectividad. Estos actores son los ingenieros de diseño de Liberty Networks, responsables de evaluar la infraestructura existente y definir la arquitectura propuesta; el equipo de ingeniería del Teleperformance, encargado de proporcionar información técnica del sitio y requerimientos operativos; y los profesionales de soporte y planeación que aportan criterios de factibilidad, estándares de red y lineamientos corporativos. Esta población contribuye con el conocimiento técnico y contextual necesario para desarrollar un diseño de última milla redundante, coherente con las necesidades del cliente y con las capacidades reales de la red del proveedor.

A continuación, se especifican las actividades planeadas para la realización del proyecto (tabla 1); las tareas están relacionadas directamente con cada uno de los objetivos planteados. Además, se indican las herramientas de trabajo, así como el resultado esperado para cada una de las acciones propuestas.

El estudio se enmarcó dentro de un enfoque cualitativo de tipo descriptivo, debido a que se centró en el análisis de las características técnicas, operativas y funcionales de una infraestructura de telecomunicaciones específica, sin realizar experimentación ni manipulación de variables. Asimismo, se buscó describir y justificar la solución propuesta a partir de los requerimientos identificados, las condiciones de la red y las mejores prácticas aplicables al diseño de servicios de conectividad empresarial.

Para la validación de la solución se utilizó el método Delphi, una técnica de consulta estructurada que permite obtener el juicio de expertos sobre una propuesta determinada. En este trabajo, la metodología fue aplicada mediante una encuesta dirigida a dos profesionales con experiencia en telecomunicaciones y diseño de redes, quienes evaluaron el cumplimiento de los requisitos técnicos, la viabilidad de la arquitectura propuesta y los atributos de calidad definidos para la solución. Los resultados obtenidos permitieron verificar que el diseño desarrollado respondía

adecuadamente a las necesidades del cliente y a las capacidades de la infraestructura disponible.

Tabla 1. Actividades para realizar según los objetivos propuestos

Objetivo específico #1	
Objetivo	Analizar los requerimientos del cliente y proveedor para la conexión de última milla. De este modo, se identificarán los requisitos técnicos de la solución.
Actividades por realizar	La fase de levantamiento de información y diagnóstico-técnico comprende la recepción formal de la orden de servicio, donde se validan los requerimientos y parámetros iniciales del proyecto. Además, permite hacer la preparación y revisión de los materiales y recursos disponibles en stock, lo que posibilita evaluar la factibilidad técnica del diseño propuesto, y la verificación de la disponibilidad del personal técnico y de ingeniería encargado del análisis, solicitud a operaciones de asignación de recursos de red, revisión de KMZ, recolección de datos y validación del diseño.
Herramientas	Se hará uso de herramientas internas de control de stock. A su vez, se emplearán herramientas de comunicación como <i>Microsoft Teams</i>, mensajería, correo electrónico, SharePoint, intranet (<i>web server</i> donde se ingresa a realizar consultas, ej. Websi, WQ). En caso de que no se tenga material en stock se cotizará con terceros materiales provistos en SAP (herramienta de compra de materiales usada en Liberty). Así mismo, se hará uso de la plataforma Google Earth.
Resultado esperado	El resultado esperado de esta fase es obtener un diagnóstico técnico completo y preciso que consolide toda la información necesaria para avanzar al diseño de la solución. Esto incluye una comprensión detallada de los requerimientos del cliente, la verificación de la disponibilidad de recursos y capacidades en la red de Liberty Networks, y la identificación del personal idóneo para participar en el proceso.

Objetivo específico #2	
Objetivo	Definir la arquitectura de red y tecnología de transmisión para las dos rutas de fibra óptica que cumplan con los requisitos establecidos.
Actividades por realizar	La fase de validación con el equipo de ingeniería de Liberty incluye la solicitud formal de asignación del personal especializado que revisará la viabilidad técnica del proyecto. Una vez designados los ingenieros, se evalúa conjuntamente la posibilidad de reutilizar la fibra óptica existente y la compatibilidad de esta con el diseño propuesto. Paralelamente, se gestionarán los permisos necesarios ante el municipio, lo cual implica radicar la solicitud, realizar seguimiento a su respuesta y recopilar la documentación emitida por la autoridad local. Con toda la información validada y los permisos en trámite o aprobados, se consolida lo necesario para estructurar la siguiente fase del proyecto.
Herramientas	Procesos de diseño definidos por la compañía o predefinidos.
Resultado esperado	El resultado esperado de esta fase es contar con la validación técnica oficial del equipo de ingeniería de Liberty Networks. Igualmente, se espera la confirmación de la infraestructura que puede ser reutilizada, y la obtención o avance significativo de los permisos municipales requeridos. Esto permite asegurar la viabilidad operativa del diseño.
Objetivo específico #3	
Objetivo	Validar la solución diseñada mediante la consulta a expertos utilizando el método Delphi, con el fin de verificar el cumplimiento de los requisitos técnicos, funcionales y de calidad definidos para el proyecto.

Actividades realizar	por	Se consolidó la documentación técnica de la solución propuesta, incluyendo diagramas, matrices de trazabilidad y especificaciones de diseño. Posteriormente, se realizó la validación mediante consulta a expertos utilizando el método Delphi, con el fin de verificar el cumplimiento de los requerimientos del cliente, los requisitos técnicos y los atributos de calidad definidos para el proyecto. Finalmente, se documentaron los resultados obtenidos y las evidencias que respaldan la viabilidad de la solución.
Herramientas		Para la documentación del diseño de solución, se hará uso del software Microsoft Word; para el análisis de rutas físicas se empleará Google Earth Pro; y, para la encuesta estructurada se tomará como base el método Delphi.
Resultado esperado		Se obtuvo una solución de conectividad de última milla validada mediante consulta a expertos utilizando el método Delphi, permitiendo verificar el cumplimiento de los requerimientos del cliente, los requisitos técnicos y los atributos de calidad definidos para el proyecto. Asimismo, se consolidó la documentación técnica correspondiente, incluyendo diagramas, matrices de trazabilidad, criterios de validación y demás evidencias que respaldan la viabilidad y pertinencia de la arquitectura propuesta para garantizar la continuidad operativa del servicio.

2 MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO CONCEPTUAL

Para el desarrollo del trabajo, es necesario comprender una serie de conceptos clave relacionados con las redes de telecomunicaciones, los cuales permiten entender el diseño de soluciones de conectividad con alta disponibilidad en entornos empresariales.

En primer lugar, se definirá el concepto “conexión de última milla”. De acuerdo con la International Telecommunication Union (ITU) [1], este término indica el tramo en el que la red de telecomunicaciones conecta los usuarios finales con el proveedor del servicio. Este segmento es especialmente crítico, ya que representa el punto más cercano al cliente, por lo tanto, donde suelen presentarse con mayor frecuencia fallas o interrupciones del servicio. A raíz de ello, su diseño debe contemplar mecanismos de redundancia que aseguren la continuidad del servicio.

Por otra parte, la investigación se centra en el uso de fibra óptica como medio de transmisión para la infraestructura. Este sistema es una de las tecnologías más utilizadas en la actualidad por su cobertura resistente y su empaquetado en alta densidad [6]. El proceso para su funcionamiento ocurre gracias a un “hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir” [6, p. 8] lo que permite alcanzar altas velocidades y reducir la interferencia electromagnética.

Debido a estas características, se considera uno de los medios más avanzados y eficientes para el transporte de datos. Según el Inter-American Development Bank [7], el despliegue de redes de fibra en zonas como América Latina es fundamental para mejorar la conectividad y soportar el crecimiento de servicios digitales.

Del mismo modo, es primordial explicar el Acuerdo de Nivel de Servicio (Service Level Agreement, SLA) dado que proporciona una visión integral de la relación entre el proveedor del servicio y el cliente. Este acuerdo es:

Un contrato [...] que define el servicio que se proporcionará y el nivel de rendimiento que se espera [...] describe cómo se medirá y aprobará el rendimiento, y qué sucede si no se cumplen los niveles de rendimiento. [8]

En esta relación proveedor-cliente, el proveedor del servicio debe prestar especial atención a las redes troncales o *backbone networks*. Esta es la parte central de una red de telecomunicaciones, encargada de interconectar múltiples nodos o redes más pequeñas [9]. Esta infraestructura permite transportar grandes volúmenes de información a largas distancias, incluso entre ciudades, países o continentes.

Es esencial, además, el monitoreo de red. El proveedor debe contar con “métodos que se implementen con el propósito de mantener la seguridad y la integridad de la red interna” [10, p. 88]. En este proceso se supervisa continuamente el estado de los dispositivos y servicios de la red, con el fin de detectar fallas, cuellos de botella o degradaciones en el rendimiento, permitiendo así tomar acciones correctivas de manera oportuna.

El proveedor del servicio debe procurar una alta disponibilidad (High Availability) y la calidad del servicio (QoS). Esta disponibilidad se caracteriza por contar con sistemas que se mantienen operativos y accesibles durante la mayor parte del tiempo, reduciendo al mínimo los periodos de inactividad [11]. Este concepto combina tanto la disponibilidad del servicio como su correcto funcionamiento bajo condiciones esperadas.

La red del proveedor del servicio también requiere de técnicas de balance de carga y capacidad de resiliencia de red. De acuerdo con Tanenbaum & Wetherall [12], el balance de carga es una técnica que permite distribuir el tráfico de red entre múltiples servidores o enlaces, evitando la sobrecarga de un solo recurso y mejorando el rendimiento general del sistema. Por otra parte, la ITU [13] define la resiliencia de red como la capacidad que tiene una organización de mantener el funcionamiento de su infraestructura incluso ante fallas o situaciones adversas. Esto implica no solo resistir interrupciones, sino también recuperarse rápidamente y continuar prestando el servicio de manera aceptable.

En ese sentido, las redes de telecomunicaciones deben contar con una infraestructura de transporte, la cual comprende todos los elementos físicos y lógicos que permiten la transmisión de datos dentro de una red [14]. Estos incluyen cables, equipos y tecnologías de comunicación que soportan el tráfico de información entre distintos puntos de la red. En el caso de los *call center*, una infraestructura adecuada y protegida permite garantizar la disponibilidad de los servicios, reducir interrupciones, mantener niveles adecuados de calidad de voz y asegurar el cumplimiento de los SLA.

Con las medidas anteriormente mencionadas, puede evitarse la saturación o congestión de red. Este fenómeno ocurre cuando el volumen de tráfico supera la capacidad de la red, lo que puede generar degradación en el servicio, aumento en la latencia y posibles interrupciones en la comunicación [15]. De esta manera, las empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones pueden orientarse hacia soluciones modernas que garanticen la continuidad operativa, especialmente en escenarios donde la conectividad impacta directamente la productividad y atención al cliente [16].

2.2 MARCO TEÓRICO

Una vez presentados los conceptos anteriores, es imprescindible explicar el enfoque bajo el cual se hará el diseño de solución. En ese sentido, la redundancia de red se convierte en un precepto de la investigación. Se entenderá como el conjunto de “tecnologías de tolerancia a fallos que permiten mejorar la fiabilidad de un sistema” [2, p. 1]. Con ellas se busca la implementación de sistemas de respaldo dentro de la infraestructura de comunicaciones, con el fin de garantizar la continuidad del servicio en caso de fallos, lo cual permite minimizar riesgos asociados a caídas, daños o interrupciones.

En la literatura existen diferentes estrategias de redundancia, sin embargo, este estudio se enfocará en la configuración *Working/Stand-by* y el protocolo 1+1. El primer método, *Working/Stand-by*, consiste en la presencia de una entidad principal (*working*) que presta el servicio en condiciones normales, mientras que una entidad secundaria (*standby*) permanece disponible como respaldo y entra en operación cuando se detecta una falla o degradación en el recurso principal [3]. Este esquema se utiliza para incrementar la disponibilidad y continuidad de los servicios de telecomunicaciones. Es ampliamente utilizado en redes críticas donde la continuidad del servicio es prioritaria como en el caso de los centros de atención al cliente.

Para que este modelo funcione, y se pueda asegurar el cambio inmediato entre el sistema principal y el sistema de respaldo sin intervención manual en la configuración *Working/Stand-by*, se acude a una conmutación automática (*failover*). Estos mecanismos *failover* son procedimientos empleados para cambiar de una función de red principal a la mejor opción entre las diferentes posibilidades para funciones de red de respaldo en caso de fallo [4]. La conmutación automática garantiza la mínima interrupción posible del servicio.

La segunda técnica de redundancia tratada en este trabajo es el protocolo de protección 1+1. Li et al. [5] describen este proceso como un mecanismo capaz de:

Soportar los requisitos de servicios de misión crítica. En la protección de ruta 1+1, las ráfagas de datos se duplican a través de dos rutas disjuntas entre un nodo de entrada y uno de salida en la red. Por consiguiente, la protección de ruta 1+1 es un mecanismo que consume muchos recursos en su forma original.

Es decir, es una técnica de redundancia en la que dos enlaces transmiten simultáneamente la misma información, permitiendo que, en caso de falla de uno de ellos, el otro continúe operando sin interrupciones perceptibles.

2.3 ESTADO DEL ARTE

Como se ha indicado previamente, el diseño de infraestructuras de telecomunicaciones con alta disponibilidad ha cobrado gran relevancia en los últimos años, especialmente en sectores donde la continuidad del servicio es crítica, como los *call centers*. Esta sección se centra en analizar las soluciones tecnológicas, arquitecturas de red y estrategias de redundancia que han sido implementadas a nivel nacional e internacional para garantizar la operación ininterrumpida de los servicios.

2.3.1 Antecedentes nacionales. En Colombia la infraestructura digital ha tenido un amplio crecimiento, lo cual ha impulsado el desarrollo de redes de telecomunicaciones más robustas y confiables. Según el portal Invest in Colombia [18], el país ha experimentado un incremento significativo en la implementación de centros de datos, lo que ha generado, ha generado una mayor demanda de conectividad de alta disponibilidad y baja latencia. Como consecuencia directa de esto, hay una necesidad imperiosa de fortalecer la infraestructura de red; un ejemplo claro de ello es la expansión de puntos de presencia (PoPs) en ciudades como Bogotá y Barranquilla, reportada por NetActuate [19][20].

De igual manera, desde la academia se ha planteado la urgencia de investigar alrededor de este tema. Este es el caso de Lozano [21], quien destaca la importancia del diseño de redes resilientes, enfatizando la implementación de redundancia y tecnologías de transmisión eficientes para garantizar la continuidad del servicio. En ese sentido, es una señal de cooperación estatal que, a raíz de este panorama, instituciones como el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación [22] promuevan iniciativas de investigación, a través de plataformas como RedCol. Esto resalta la importancia de desarrollar soluciones tecnológicas que optimicen la

conectividad y mejoren la calidad del servicio en entornos empresariales en Colombia.

En esa misma dirección, las empresas de telecomunicaciones en el país, como Claro [16], se están preparando para la hiperconectividad que Colombia está experimentando. De esta forma la conectividad empresarial estará enfocada en soluciones con alta disponibilidad, redundancia y escalabilidad, adaptadas a las necesidades de sectores críticos.

2.3.2 Antecedentes internacionales. En el caso del panorama internacional existe también una serie de estudios que prueban la importancia de implementar estrategias de redundancia en redes para garantizar operaciones ininterrumpidas. Enlaza [23] señala que la implementación de redundancia en centros de atención al cliente es un factor clave para evitar pérdidas económicas y asegurar la continuidad del servicio. De hecho, uno de los enfoques más utilizados actualmente es la implementación de redes con redundancia en la última milla, las cuales permiten mitigar fallas en el segmento más vulnerable de la red.

Para ello, la incorporación de enlaces redundantes en fibra óptica, junto con mecanismos de conmutación automática, ha demostrado ser una solución efectiva para mantener la continuidad del servicio en entornos empresariales [8]. En el caso de Latinoamérica, la expansión de redes de fibra óptica en América Latina ha permitido mejorar significativamente la calidad y capacidad de los servicios de telecomunicaciones. Según el Inter-American Development Bank [25], uno de los principales retos en la región ha sido, precisamente, garantizar la cobertura y resiliencia de estas redes, especialmente en el acceso de última milla, donde se concentran gran parte de las fallas.

Ahora, es necesario revisar el crecimiento del sector BPO y *call centers* en la región. La Revista EYN [24] evidencia la alta dependencia de estos servicios respecto a infraestructuras de telecomunicaciones confiables. Los centros de contacto representan uno de los escenarios más exigentes en términos de disponibilidad. Por ello, el crecimiento del sector BPO ha incrementado la demanda por soluciones de conectividad robustas, capaces de soportar altos volúmenes de tráfico y garantizar tiempos de respuesta adecuados. El aumento de este tipo de operaciones ha estado directamente relacionado con la necesidad de infraestructuras de telecomunicaciones confiables y escalables [24].

A su vez, los proveedores de servicios y empresas tecnológicas han comenzado a implementar arquitecturas basadas en esquemas de alta disponibilidad, como

configuraciones *Working/Stand-by*, balanceo de carga y protocolos de protección, con el fin de garantizar la continuidad operativa incluso ante fallas en alguno de los enlaces. Estas estrategias permiten no solo mantener el servicio activo, sino también optimizar el rendimiento general de la red.

También se ha identificado que la combinación de múltiples estrategias, como la redundancia física (doble fibra), la redundancia lógica (protocolos de protección) y el monitoreo constante de la red, constituye una de las mejores prácticas en el diseño de soluciones de telecomunicaciones para entornos críticos. Sin embargo, a pesar de los avances, aún existen desafíos importantes. Entre ellos: la alta inversión requerida para implementar infraestructura redundante, la complejidad en la gestión de redes distribuidas y la necesidad de garantizar acuerdos de nivel de servicio (SLA) que respalden la calidad ofrecida al cliente. Estos factores limitan (en algunos casos) la adopción de soluciones avanzadas, especialmente en mercados en desarrollo.

De esta manera, la expansión de proveedores internacionales como NetActuate en América del Sur demuestra la creciente necesidad de infraestructura distribuida y resiliente, capaz de soportar servicios críticos en diferentes ubicaciones geográficas [20]. La expansión de puntos de presencia (PoPs) y la descentralización de la infraestructura evidencian una tendencia hacia redes más distribuidas y resilientes. Este tipo de enfoques permite reducir la latencia, mejorar la disponibilidad y ofrecer rutas alternativas en caso de fallas [11].

Luego de revisar los antecedentes y realizar el análisis del estado del arte, se puede identificar que, aunque existen múltiples soluciones tecnológicas para garantizar la alta disponibilidad, no todas son aplicadas de manera adecuada en el segmento de última milla, lo cual abre la posibilidad de proponer diseños optimizados que respondan a necesidades específicas, como en el caso del presente trabajo. Se evidencia que las tendencias actuales apuntan hacia el diseño de redes más resilientes, automatizadas y adaptativas, en las que la redundancia y la continuidad del servicio no son opcionales, sino requisitos fundamentales para garantizar la operación de servicios críticos como los *call centers*.

En el caso de este proyecto, el foco se hace en Teleperformance, un *call center* ubicado en Montego Bay, Jamaica, para el cual se plantea el diseño de una solución de última milla redundante basada en fibra óptica. Esta propuesta busca asegurar altos niveles de disponibilidad mediante el uso de una configuración *Working/Stand-by*, permitiendo que el servicio continúe operando incluso ante fallas en una de las rutas. Este trabajo se alinea con las necesidades actuales del sector

de telecomunicaciones, donde la confiabilidad, la disponibilidad y la capacidad de respuesta ante fallos son aspectos clave para garantizar la calidad del servicio.

3 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN DE ÚLTIMA MILLA REDUNDANTE

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA Y REQUERIMIENTOS DE INTERCONEXIÓN

3.1.1 Introducción. Este capítulo tiene como objetivo identificar y analizar la infraestructura de telecomunicaciones disponible, los medios físicos de transmisión y los requerimientos técnicos necesarios para el diseño de la conexión de última milla del servicio de internet para el *call center* ubicado en Montego Bay, Jamaica.

Para esto, se evaluarán las capacidades de la red de Liberty Networks, las condiciones de interconexión existentes y los elementos necesarios para implementar una solución redundante basada en fibra óptica. Se tendrán en cuenta aspectos relacionados con disponibilidad, continuidad del servicio, capacidad de transmisión y mecanismos de respaldo, con el fin de garantizar una infraestructura confiable y alineada con las necesidades operativas del cliente.

El desarrollo de este capítulo permitirá establecer las bases técnicas del proyecto, identificando los recursos y condiciones requeridas para la implementación del diseño propuesto. De esta manera, se busca asegurar que la solución planteada sea viable desde el punto de vista técnico y responda adecuadamente a los requerimientos de conectividad del entorno empresarial analizado.

3.1.2 Identificación de la infraestructura disponible de Liberty Networks. Liberty Networks cuenta con una red de transporte regional basada principalmente en fibra óptica, con puntos de presencia estratégicamente distribuidos en diferentes zonas del Caribe. En el área de Montego Bay, Jamaica, la infraestructura existente permite el acceso a rutas de fibra óptica que pueden ser utilizadas para el diseño de la conexión de última milla orientada a clientes corporativos. La red disponible dispone de capacidades adecuadas para soportar servicios empresariales de alta disponibilidad, permitiendo implementar esquemas redundantes y mecanismos de respaldo que contribuyan a garantizar la continuidad operativa del servicio de internet.

La infraestructura de transporte de Liberty Networks se encuentra integrada a una red *backbone* regional, lo que permite ofrecer conectividad estable y escalable para servicios críticos de telecomunicaciones. En la figura 1 se encuentra delimitada la zona de la infraestructura disponible. Esta capacidad resulta fundamental para soportar operaciones empresariales que requieren disponibilidad permanente y bajos niveles de latencia. La existencia de diferentes rutas de fibra óptica dentro de

la zona de cobertura permite evaluar alternativas de interconexión que reduzcan la probabilidad de puntos únicos de falla, mejorando así la resiliencia de la solución propuesta.

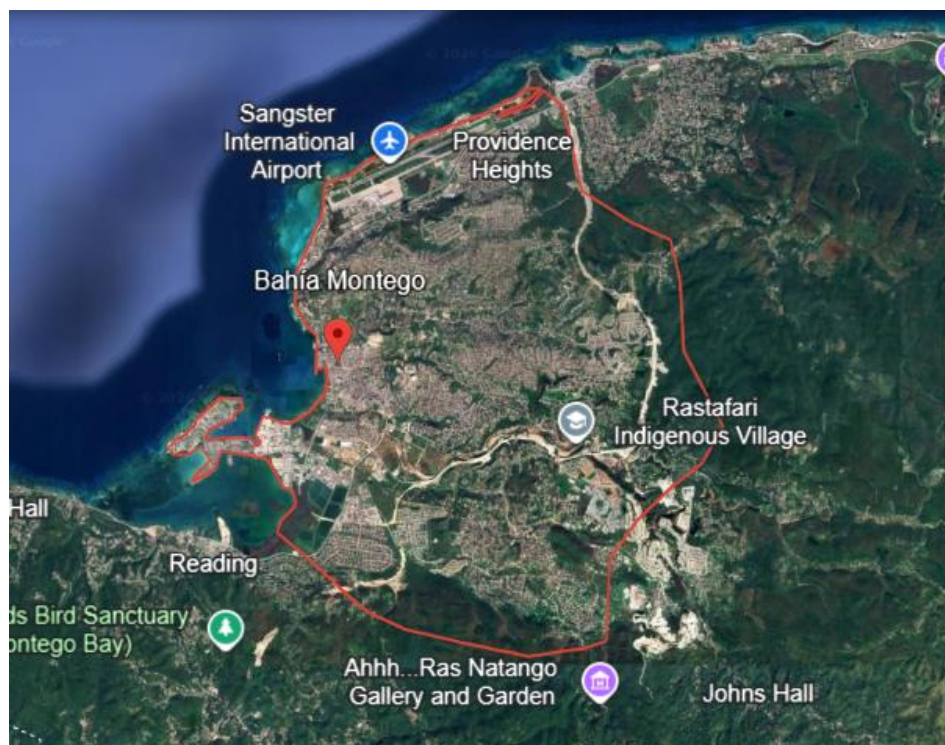


Figura 1. Infraestructura disponible de transporte de Liberty Networks

Fuente: Google Earth

3.1.3 Requerimientos del cliente. Antes de definir la arquitectura y los elementos técnicos de la solución, fue necesario identificar los requerimientos planteados por el cliente. Estos se entienden como las necesidades, expectativas y condiciones que el servicio debe satisfacer para garantizar el correcto funcionamiento de la operación. Los requerimientos surgieron a partir del análisis del caso de estudio y de la información suministrada por el personal técnico involucrado en el proyecto. Su identificación permitió establecer los lineamientos generales que orientaron el diseño de la solución de conectividad, asegurando que la propuesta respondiera a las necesidades operativas, de disponibilidad y continuidad del servicio requeridas por el *call center*.

Tabla 2. Requerimientos del cliente

Número (RC)	Requerimiento Cliente (RC)
RC-01	Servicio de internet dedicado para operación de <i>call center</i>
RC-02	Disponibilidad mínima de 99,8%
RC-03	Implementar redundancia mediante esquema <i>Working/Stand-by</i>
RC-04	Capacidad inicial de 1 Gbps
RC-05	Posibilidad de crecimiento hasta 10 Gbps
RC-06	Continuidad operativa ante fallas de la ruta principal
RC-07	Utilizar infraestructura basada en fibra óptica
RC-08	Implementar conmutación automática ante fallas
RC-09	Minimizar pérdida de paquetes
RC-10	Garantizar independencia física entre rutas

Fuente: Elaboración propia a partir de consulta técnica realizada al personal de Liberty Networks

3.1.4 Requisitos de la solución. Una vez identificados los requerimientos del cliente, se definieron los requisitos de la solución. Para ello, se tuvieron en cuenta las características técnicas y funcionales que debe cumplir el diseño propuesto para satisfacer dichas necesidades. De esa manera, se constituyeron criterios verificables que permitieran evaluar objetivamente si la solución diseñada responde a las condiciones establecidas para el servicio. Estos sirven como base para el desarrollo de la arquitectura de red, la selección de tecnologías y la posterior validación de la propuesta mediante consulta a expertos.

Tabla 3. Requisitos de solución

Número (RS)	Requisitos Solución (RS)
RS-01	Utilizar fibra óptica monomodo
RS-02	Implementar dos rutas físicas independientes
RS-03	Mantener una independencia de rutas del 98%
RS-04	Utilizar dos hilos de fibra óptica para transmisión y recepción
RS-05	Utilizar equipos Cisco ASR como <i>routers</i> de borde
RS-06	Implementar equipos NTE Cisco Small Business
RS-07	Utilizar switches Cisco Nexus para agregación
RS-08	Soportar velocidades de hasta 10 Gbps
RS-09	Configurar <i>failover</i> automático inferior a 15 ms
RS-10	Cumplir SLA de 99,8%
RS-11	Garantizar MTTR máximo de 4 horas
RS-12	Utilizar Ethernet como tecnología de acceso

Fuente: Elaboración propia a partir de consulta técnica realizada al personal de Liberty Networks

3.1.5 Matriz de trazabilidad. Con el fin de garantizar que la solución diseñada responda de manera adecuada a las necesidades identificadas, se estableció una matriz de trazabilidad que relaciona cada requerimiento del cliente con uno o varios requisitos de la solución. Esta relación permite verificar que todos los aspectos solicitados han sido considerados durante el diseño y facilita posteriormente el proceso de validación de la propuesta mediante el método Delphi.

Tabla 4. Matriz de trazabilidad

Número RC-01	
Requerimiento del cliente	Garantizar la continuidad operativa del <i>call center</i> ante fallas del servicio de internet
Número RS	RS-02
Requisito de la solución	Implementar dos rutas físicas independientes bajo esquema <i>Working/Stand-by</i>
Fuente	Cliente
Entregable	Diseño físico de la red
Método de verificación	Método Delphi y revisión técnica
Criterio de aceptación	La falla de una ruta no debe generar interrupción del servicio
Número RC-02	
Requerimiento del cliente	Contar con alta disponibilidad para soportar la operación 24/7
Número RS	RS-10
Requisito de la solución	Cumplir un SLA mínimo de disponibilidad del 99.8%
Fuente	Cliente
Entregable	Especificación técnica de la solución
Método de verificación	Consulta a expertos
Criterio de aceptación	Disponibilidad $\geq 99.8\%$
Número RC-03	
Requerimiento del cliente	Implementar redundancia para garantizar continuidad del servicio
Número RS	RS-09
Requisito de la solución	Implementar <i>failover</i> automático con tiempo máximo de conmutación de 15 ms
Fuente	Cliente
Entregable	Diseño lógico
Método de verificación	Validación funcional
Criterio de aceptación	Tiempo de conmutación ≤ 15 ms
Número RC-04	
Requerimiento del cliente	Disponer de una capacidad inicial de 1 Gbps

Número RS	RS-08
Requisito de la solución	Diseñar una infraestructura con soporte mínimo de 1 Gbps
Fuente	Cliente
Entregable	Arquitectura de red
Método de verificación	Revisión documental
Criterio de aceptación	Capacidad mínima garantizada de 1 Gbps
Número RC-05	
Requerimiento del cliente	Permitir crecimiento futuro de la capacidad del servicio
Número RS	RS-08
Requisito de la solución	Utilizar equipos y enlaces escalables hasta 10 Gbps
Fuente	Cliente
Entregable	Arquitectura de red
Método de verificación	Revisión técnica
Criterio de aceptación	Soporte de crecimiento sin rediseño de la solución
Número RC-06	
Requerimiento del cliente	Utilizar infraestructura basada en fibra óptica
Número RS	RS-12
Requisito de la solución	Implementar enlaces de fibra óptica monomodo utilizando Ethernet
Fuente	Cliente y proveedor
Entregable	Diseño de transmisión
Método de verificación	Revisión documental
Criterio de aceptación	Toda la última milla opera sobre fibra óptica Ethernet
Número RC-07	
Requerimiento del cliente	Implementar conmutación automática ante fallas
Número RS	RS-09
Requisito de la solución	Implementar mecanismo de failover basado en detección automática mediante BFD
Fuente	Cliente
Entregable	Diseño lógico
Método de verificación	Validación técnica
Criterio de aceptación	Recuperación automática ≤ 15 ms
Número RC-08	
Requerimiento del cliente	Minimizar la pérdida de paquetes
Número RS	RS-10
Requisito de la solución	Diseñar la solución para cumplir los parámetros de calidad asociados al SLA del proveedor
Fuente	Cliente y proveedor
Entregable	Parámetros de calidad
Método de verificación	Consulta a expertos
Criterio de aceptación	Pérdida de paquetes $\leq 0.3\%$

Número RC-09	
Requerimiento del cliente	Garantizar independencia física entre rutas
Número RS	RS-3
Requisito de la solución	Diseñar la solución para una pérdida de paquetes máxima de 0.3%
Fuente	Cliente
Entregable	Diseño físico de rutas
Método de verificación	Revisión del diseño
Criterio de aceptación	Independencia física $\geq 98\%$
Número RC-10	
Requerimiento del cliente	Utilizar equipos empresariales de alto desempeño
Número RS	RS-05, RS-06 y RS-07
Requisito de la solución	Implementar <i>routers</i> Cisco ASR, <i>switches</i> Cisco Nexus y equipos NTE empresariales
Fuente	Proveedor
Entregable	Arquitectura de equipos
Método de verificación	Revisión técnica
Criterio de aceptación	Los equipos cumplen los requerimientos de capacidad y desempeño

Fuente: Elaboración propia a partir de consulta técnica realizada al personal de Liberty Networks

3.1.6 Análisis de alternativas tecnológicas. Después de la revisión de los requerimientos identificados para la prestación del servicio de internet de Teleperformance, fue necesario analizar las diferentes tecnologías de acceso disponibles que podrían ser utilizadas para la implementación de la conexión de última milla. Este análisis permitió evaluar las características, ventajas y limitaciones de cada alternativa en función de criterios técnicos como capacidad de transmisión, disponibilidad, latencia, escalabilidad, confiabilidad y continuidad operativa.

Entre las tecnologías consideradas para el diseño de solución se encuentran la fibra óptica, los radioenlaces y las soluciones satelitales. Estos representan algunas de las opciones más utilizadas para la provisión de servicios de telecomunicaciones empresariales. La comparación de estas alternativas permitió determinar cuál de ellas se ajustaba de mejor manera a los requerimientos del cliente y a las capacidades operativas del proveedor.

El resultado de este análisis constituyó un insumo fundamental para el diseño de la solución propuesta, ya que permitió seleccionar la tecnología que ofrece las mejores condiciones para garantizar la disponibilidad, el desempeño y la escalabilidad requeridos por un entorno crítico como un centro de contacto. A continuación, se

presenta la comparación de las alternativas evaluadas y la justificación de la tecnología seleccionada para el desarrollo del proyecto.

Tabla 5. Comparación entre las alternativas tecnológicas

Característica Tecnología	Fibra óptica	Radioenlace	Satelital
Capacidad	Muy alta	Media	Baja
Latencia	Baja	Media	Alta
Disponibilidad	Alta	Media	Media
Escalabilidad	Alta	Media	Baja
Sensibilidad climática	Baja	Media	Alta
Soporte para 10Gbps	Sí	Limitado	No
Aplicación en <i>call center</i>	Excelente	Aceptable	No recomendable

Fuente: Elaboración propia a partir de consulta técnica realizada al personal de Liberty Networks

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis comparativo, la fibra óptica fue seleccionada como la tecnología más adecuada para el desarrollo de la solución propuesta. Esta tecnología ofrece mayores capacidades de transmisión, menor latencia, mejores niveles de disponibilidad y una mayor escalabilidad en comparación con las alternativas evaluadas. Adicionalmente, Liberty Networks utiliza fibra óptica como estándar para la provisión de servicios empresariales de internet, lo que garantiza compatibilidad con la infraestructura existente, los procedimientos operativos y los mecanismos de soporte técnico del proveedor. Por estas razones, se determinó que la fibra óptica constituye la alternativa que mejor responde a los requerimientos de conectividad, continuidad operativa y crecimiento futuro establecidos para el *call center* objeto de estudio.

3.2 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN DE ÚLTIMA MILLA REDUNDANTE

3.2.1 Introducción. Este capítulo tiene como finalidad desarrollar el diseño técnico de la solución de última milla redundante para el servicio de internet del *call center* Teleperformance, ubicado en Montego Bay, Jamaica.

A partir de la infraestructura y requerimientos identificados previamente, se definirá la arquitectura de red, las rutas de fibra óptica, los mecanismos de redundancia y los elementos necesarios para garantizar alta disponibilidad y continuidad operativa del servicio. Se describirán las estrategias de protección y conmutación automática implementadas dentro de la solución propuesta, con el objetivo de minimizar el impacto de posibles fallas sobre la operación del cliente. El desarrollo de este capítulo permitirá establecer una solución técnicamente viable, alineada con las capacidades de la red de Liberty Networks y con las necesidades operativas del *call center*.

3.2.2 Arquitectura propuesta de red. La solución propuesta consiste en el diseño de una arquitectura de última milla redundante basada en fibra óptica, utilizando una configuración *Working/Stand-by* para garantizar alta disponibilidad del servicio. La arquitectura contempla la implementación de dos rutas de fibra óptica físicamente independientes entre la infraestructura de Liberty Networks y las instalaciones del cliente (ver figura 2).

La ruta principal (*Working*) será utilizada como enlace activo para el transporte normal del tráfico, mientras que la ruta secundaria (*Stand-by*) permanecerá disponible como respaldo ante posibles fallas del enlace principal. Esta arquitectura permite minimizar riesgos asociados a interrupciones del servicio, reduciendo puntos únicos de falla y mejorando la resiliencia de la red. Además, la solución considera la integración de mecanismos de monitoreo y conmutación automática que permitan detectar fallas y realizar la activación inmediata del enlace de respaldo.

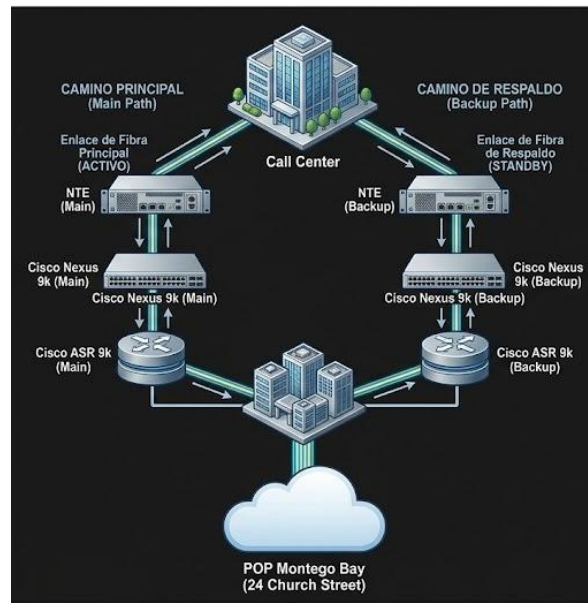


Figura 2. Arquitectura general de la solución

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.1 Arquitectura física propuesta. Con el fin de garantizar la conectividad del servicio de internet solicitado por el cliente, se realizó el análisis de la infraestructura disponible entre el punto de presencia (PoP) de Liberty Networks y las instalaciones de Teleperformance que se encuentran en Montego Bay. A partir de este análisis se identificó una ruta física principal para el tendido de fibra óptica, aprovechando la infraestructura existente y minimizando riesgos asociados a la instalación del servicio.

3.2.2.1.1 Características físicas de la infraestructura propuesta

La siguiente tabla presenta las principales características físicas de la infraestructura propuesta para la conexión de última milla entre Liberty Networks y el *call center* ubicado en Montego Bay, Jamaica. Los parámetros definidos constituyen la base para el diseño y validación de la solución planteada.

Tabla 6. Características físicas de la infraestructura propuesta

Parámetro	Valor	Descripción
Ubicación del PoP	Sector de Church Street, Montego Bay, Jamaica	Punto de presencia de Liberty Networks desde

		donde se presta el servicio
Ubicación del cliente	Fusion CX Call Center, Montego Bay, Jamaica	Sitio donde se entregará el servicio de internet dedicado
Tipo de servicio	Internet dedicado empresarial	Servicio de conectividad de alta disponibilidad para operación de <i>call center</i>
Medio de transmisión	Fibra óptica monomodo (SMF)	Capacidad, baja latencia y confiabilidad
Estándar de transmisión	Ethernet	Tecnología utilizada por Liberty Networks para la provisión del servicio
Topología de acceso	Punto a punto	Conexión directa entre la red del proveedor y el cliente
Distancia ruta principal	2,715 km	Distancia estimada mediante Google Earth Pro
Distancia ruta secundaria	5,720 km	Ruta de respaldo con recorrido físico independiente
Número de rutas	2	Ruta principal (<i>Working</i>) y ruta de respaldo (<i>Stand-by</i>)
Nivel de independencia	98%	Solo comparten el tramo de ingreso al edificio del cliente
Compartición de ductería	Parcial	Únicamente en la acometida final al edificio
Compartición de postes	No	Cada ruta utiliza infraestructura independiente
Tipo de fibra	Monomodo	Adecuada para enlaces metropolitanos y empresariales
Cantidad de hilos asignados	2 hilos	Uno para transmisión (TX) y otro para recepción (RX)
Amplificadores ópticos	No requeridos	La distancia es inferior al alcance máximo soportado por el servicio

Capacidad contratada	1 Gbps	Ancho de banda actualmente solicitado por el cliente
Capacidad máxima disponible	10 Gbps	Capacidad máxima soportada por la infraestructura propuesta
SLA de disponibilidad	99,8%	Acuerdo de nivel de servicio para enlaces protegidos
MTTR	4 horas	Tiempo máximo de recuperación comprometido por el proveedor
Pérdida máxima de paquetes	0,3 %	Parámetro de calidad del servicio de internet
Esquema de protección	<i>Working/Stand-by</i>	Arquitectura seleccionada por el cliente y el proveedor
Tiempo de <i>failover</i>	≤ 15 ms	Conmutación automática ante falla de la ruta principal
Método de detección de fallas	BFD (Bidirectional Forwarding Detection)	Monitoreo continuo de la disponibilidad de los enlaces.

Fuente: Elaboración propia a partir de consulta técnica realizada al personal de Liberty Networks

3.2.2.1.2 Equipos considerados en el diseño.

- **Cisco ASR 1001-X**

El *router* Cisco ASR 1001-X [26] fue seleccionado debido a que proporciona capacidades empresariales adecuadas para servicios de internet dedicados con requerimientos de alta disponibilidad. Este equipo soporta interfaces Gigabit Ethernet y 10 Gigabit Ethernet, permitiendo atender la capacidad contratada actual de 1 Gbps y futuras ampliaciones hasta 10 Gbps sin necesidad de reemplazar la plataforma.

Este incorpora funcionalidades avanzadas de enrutamiento IP, monitoreo de tráfico, calidad de servicio (QoS), alta disponibilidad y protocolos de detección rápida de

fallas, características necesarias para soportar una arquitectura redundante tipo Working/Stand-by.

Tabla 7. Caracterización del equipo Cisco ASR 1001-X

Característica	Especificación	Imagen
Fabricante	Cisco	 Figura 3. Cisco ASR 1001-X Fuente: Empresa Established 2001
Modelo	ASR 1001-X	
Throughput máximo	Hasta 20 Gbps	
Interfaces	1G y 10G Ethernet	
Función	Router de acceso a Internet	
Ubicación	PoP Liberty Networks	

Fuente: Elaboración propia a partir de consulta técnica realizada al personal de Liberty Networks

- **Cisco Nexus 93180YC-FX (Switch de agregación)**

El Cisco Nexus 93180YC-FX [27] fue seleccionado debido a su alta densidad de puertos y capacidad de procesamiento, lo que permite agregar múltiples servicios empresariales dentro del PoP de Liberty Networks.

Este equipo ofrece baja latencia, alta disponibilidad y soporte para interfaces de diferentes velocidades, facilitando la conexión de los enlaces principales y de respaldo dentro de la arquitectura propuesta.

Tabla 8. Caracterización del equipo Cisco Nexus 93180YC-FX

Característica	Especificación	Imagen
Fabricante	Cisco	 Figura 4. Cisco Nexus 93180YC-FX Fuente: Empresa Cisco Systems
Modelo	Nexus 93180YC-FX	
Puertos	48 puertos 1/10/25 Gbps	
Uplinks	6 puertos 40/100 Gbps	
Función	Switch de agregación	
Ubicación	PoP Liberty Networks	

Fuente: Elaboración propia a partir de consulta técnica realizada al personal de Liberty Networks

- **Cisco Catalyst C8200-1N-4T (NTE)**

El Cisco Catalyst C8200 [28] fue seleccionado como equipo de terminación de red (NTE) debido a que proporciona funciones de acceso empresarial, monitoreo, gestión remota y soporte para enlaces Ethernet de alta capacidad. Su capacidad para integrarse con arquitecturas redundantes y soportar servicios dedicados lo convierte en una alternativa adecuada para instalaciones empresariales críticas como centros de contacto.

Tabla 9. Caracterización del equipo Cisco Catalyst C8200-1N-4T

Característica	Especificación	Imagen
Fabricante	Cisco	 Figura 5. Cisco Catalyst C8200-1N-4T Fuente: Empresa Cisco Systems
Modelo	Catalyst C8200-1N-4T	
Función	NTE del cliente	
Interfaces	Gigabit Ethernet	
Ubicación	Call Center	

3.2.2.1.3 Ruta principal (Working). En la figura 6 se presenta la ruta física principal considerada para la implementación del servicio de última milla. El recorrido inicia en el PoP de Liberty Networks ubicado en el sector de Church Street y finaliza en las instalaciones del *call center* objeto de estudio.

Mediante la herramienta de medición Google Earth Pro, se estimó una distancia aproximada de 2,72 km, equivalente a 2.715 m, entre ambos puntos. Esta distancia se encuentra dentro del alcance operativo de los enlaces de fibra óptica monomodo utilizados por Liberty Networks, por lo que no se requiere la implementación de amplificadores ópticos ni equipos de regeneración intermedios.

Adicionalmente, el perfil de elevación obtenido evidencia variaciones mínimas del terreno, con alturas comprendidas entre aproximadamente 0,24 m y 7,98 m sobre el nivel de referencia, lo que favorece la instalación de la infraestructura y reduce posibles afectaciones asociadas a condiciones topográficas complejas. La ruta propuesta fue seleccionada como trayecto principal debido a que permite una conexión directa entre el PoP y el sitio del cliente, garantizando los niveles de capacidad, disponibilidad y desempeño requeridos para la operación del servicio.

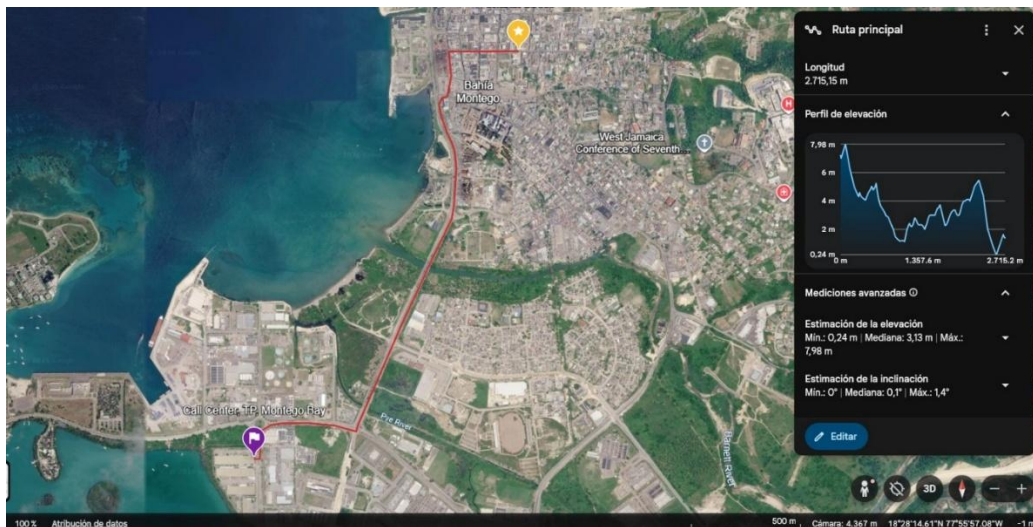


Figura 6. Ruta física principal (*Working*) propuesta entre el PoP de Liberty Networks y el *call center* en Montego Bay, Jamaica.

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth Pro

3.2.2.1.3 Ruta backup (Stand-by). La ruta secundaria fue diseñada como enlace de respaldo (Stand-by) dentro de la arquitectura de alta disponibilidad propuesta. Su recorrido inicia en el PoP de Liberty Networks ubicado en el sector de Church Street y se dirige hacia las instalaciones del *call center* mediante una trayectoria alternativa a la utilizada por la ruta principal.

La distancia aproximada de esta ruta es de 5,72 km, superior a la longitud de la ruta principal. Sin embargo, esta diferencia no representa una limitación técnica para la prestación del servicio, debido a que la fibra óptica monomodo utilizada soporta distancias considerablemente mayores sin requerir amplificación intermedia.

El trazado fue definido buscando maximizar la independencia física entre ambos enlaces, evitando compartir ducterías, postes y segmentos de infraestructura a lo largo de la mayor parte del recorrido. De acuerdo con la información suministrada por Liberty Networks, la independencia entre rutas es cercana al 98 %, compartiendo únicamente el tramo final de acceso al edificio del cliente. La implementación de esta ruta secundaria permite incrementar la resiliencia de la solución y garantizar la continuidad operativa del servicio ante fallas que puedan afectar la ruta principal, cumpliendo así con los requisitos de disponibilidad y redundancia establecidos para el proyecto.

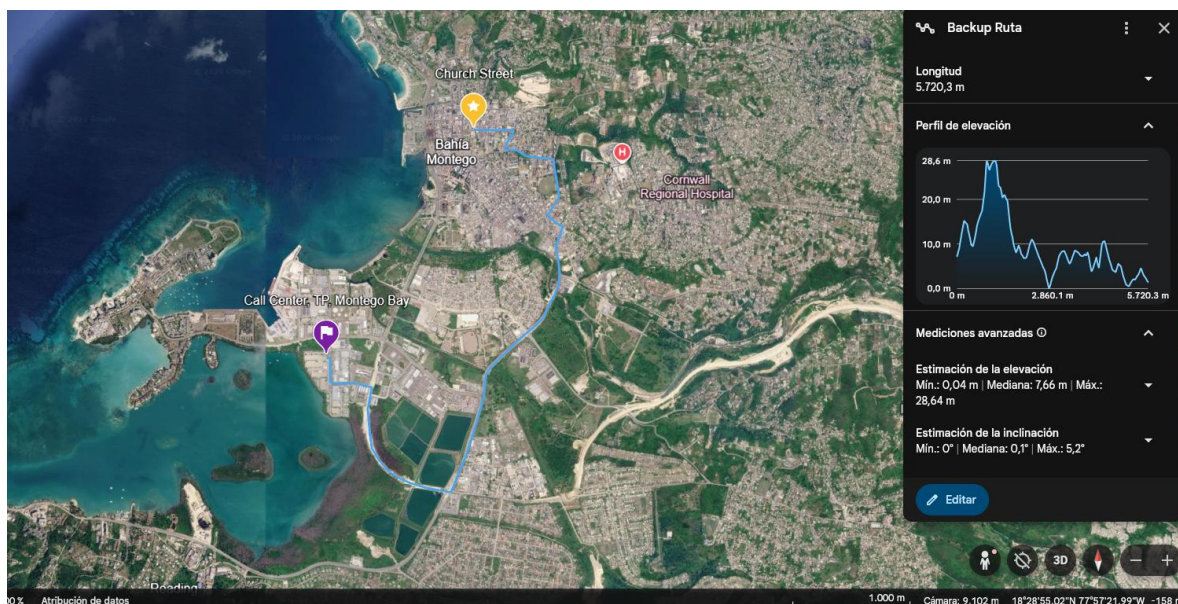


Figura 7. Ruta física *backup* (*Standby*) propuesta entre el PoP de Liberty Networks y el *call center* en Montego Bay, Jamaica

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth Pro

Tabla 10. Comparación de rutas físicas propuestas

Parámetro	Ruta principal (<i>Working</i>)	Ruta secundaria (<i>Stand-by</i>)
Longitud aproximada	2,72 km	5,72 km
Medio de transmisión	Fibra óptica monomodo	Fibra óptica monomodo
Función	Servicio activo	Respaldo automático
Amplificación requerida	No	No
Compartición de postes	No	No
Compartición de ductería	Solo acceso final al edificio	Solo acceso final al edificio
Nivel de independencia	98%	98%
Estado de operación	<i>Working</i>	<i>Stand-by</i>

Fuente: Elaboración propia a partir de consulta técnica realizada al personal de Liberty Networks

3.2.2.2 Componentes principales de la arquitectura. La solución diseñada contempla los siguientes elementos principales: red *backbone* de Liberty Networks, punto de presencia (PoP) más cercano al cliente, dos rutas independientes de fibra óptica, equipos NTE para terminación del servicio, equipos de enrutamiento y

distribución del cliente, sistema de conmutación automática y monitoreo. La integración de estos componentes permite garantizar estabilidad, disponibilidad y continuidad operativa del servicio empresarial.

Tabla 11. Componentes principales de la arquitectura

Componente	Descripción	Función dentro de la solución
<i>Backbone</i> de Liberty Networks	Infraestructura principal de transporte de datos del proveedor, compuesta por enlaces de alta capacidad en fibra óptica.	Permitir la interconexión regional e internacional del servicio de internet y garantizar conectividad estable hacia la red principal.
Punto de Presencia (PoP)	Nodo de acceso de la red de Liberty Networks ubicado estratégicamente para la distribución de servicios empresariales.	Servir como punto de interconexión entre la red <i>backbone</i> y las rutas de última milla hacia el cliente.
Ruta principal (<i>Working</i>)	Enlace de fibra óptica utilizado como canal principal de transmisión de datos.	Transportar el tráfico operativo normal del <i>call center</i> con alta disponibilidad y estabilidad.
Ruta de respaldo (<i>Stand-by</i>)	Segunda ruta de fibra óptica físicamente independiente de la principal.	Actuar como enlace de respaldo ante fallas de la ruta principal, garantizando continuidad operativa.
Fibra óptica	Medio físico de transmisión basado en impulsos de luz para el transporte de datos.	Proporcionar alta capacidad, baja latencia y estabilidad en la transmisión de información.
Equipo NTE (<i>Network Termination Equipment</i>)	Equipo instalado en las instalaciones del cliente para la terminación del servicio de telecomunicaciones.	Permitir la conexión entre la infraestructura del proveedor y la red interna del cliente.

<i>Router</i> empresarial	Dispositivo de red encargado de gestionar el tráfico y el enrutamiento de datos.	Administrar la conectividad entre los enlaces redundantes y la red LAN del <i>call center</i> .
<i>Switch</i> LAN	Equipo de distribución de red dentro de las instalaciones del cliente.	Facilitar la conexión de dispositivos internos y segmentar el tráfico de red.
Sistema de <i>failover</i>	Mecanismo de conmutación automática entre enlaces redundantes.	Detectar fallas en el enlace principal y activar automáticamente la ruta de respaldo.
Sistema de monitoreo	Herramienta de supervisión y gestión de red.	Monitorear el estado de los enlaces, disponibilidad y desempeño del servicio en tiempo real.
Sistema UPS	Sistema de alimentación eléctrica ininterrumpida.	Mantener operativos los equipos de telecomunicaciones ante fallas eléctricas temporales.

Fuente: Elaboración propia a partir de consulta técnica realizada al personal de Liberty Networks

Con la arquitectura general de la solución ya definida, fue necesario establecer las características físicas de la infraestructura de telecomunicaciones que permitirá la prestación del servicio de internet a Teleperformance. Estas características corresponden a los elementos técnicos y constructivos que conforman la conexión de última milla, incluyendo el medio de transmisión, la topología de las rutas, la capacidad del servicio y los criterios de redundancia considerados durante el diseño.

La definición de estos parámetros permitió garantizar que la solución propuesta cumpliera con los requisitos de disponibilidad, continuidad operativa y escalabilidad establecidos previamente. Asimismo, la caracterización física de la infraestructura sirvió como base para validar la viabilidad técnica del diseño y verificar su alineación con las capacidades de la red de Liberty Networks y las necesidades operativas del cliente.

A continuación, se presentan las principales características físicas consideradas para la implementación de la solución de conectividad propuesta.

Tabla 12. Características físicas de la solución

Parámetro	Valor
Medio de transmisión	Fibra óptica
Tipo de fibra	Monomodo
Tecnología de acceso	Ethernet
Hilos asignados	2
Amplificadores	No requeridos
Rutas redundantes	2
Independencia de rutas	98%
Compartición de ductería	Solo ingreso al edificio
Compartición de postes	No
Capacidad instalada	10 Gbps
Capacidad contratada	1Gbps

Fuente: Elaboración propia a partir de consulta técnica realizada al personal de Liberty Networks

3.2.3 Diseño de rutas de fibra óptica

3.2.3.1 Ruta principal (Working). La ruta principal corresponde al enlace activo utilizado para el tráfico de datos habitual entre la red de Liberty Networks y el centro de llamadas. Esta ruta se diseñó teniendo en cuenta la disponibilidad de la infraestructura, la capacidad de transmisión y la proximidad al punto de acceso principal del cliente.

La ruta seleccionada busca minimizar las interferencias y reducir los riesgos asociados a daños físicos en la infraestructura de telecomunicaciones. La ruta principal soportará el tráfico operativo del centro de llamadas, incluyendo telefonía IP, plataformas de atención al cliente y aplicaciones empresariales.

3.2.3.2 Ruta de respaldo (Stand-by). La ruta secundaria o de reserva se diseñó como mecanismo de respaldo en caso de fallo de la ruta principal. Para garantizar una redundancia adecuada, esta ruta sigue un recorrido prácticamente independiente, evitando compartir conductos, canalizaciones o puntos críticos con el enlace principal.

La implementación de rutas separadas reduce la probabilidad de interrupciones simultáneas en ambos enlaces y mejora la capacidad de recuperación en caso de incidentes. En caso de fallo de la ruta principal, el tráfico se redirigirá

automáticamente a la ruta secundaria mediante mecanismos de conmutación por error.

3.2.4 Diseño lógico de la solución. El diseño lógico de la solución incluye la interconexión de la infraestructura de Liberty Networks con la red interna del cliente mediante enlaces de fibra óptica redundantes. La arquitectura incorpora un segmento de lógica de tráfico y una configuración de protocolo de enrutamiento para mantener la estabilidad y la continuidad operativa.

También se implementarán parámetros de QoS para priorizar aplicaciones críticas como la telefonía IP y las plataformas de comunicación en tiempo real. El diseño incluye además mecanismos de monitorización continua para supervisar el estado de los enlaces y detectar posibles degradaciones del servicio.

Tabla 13. Parámetros de QoS lógicos del diseño

Parámetro	Valor propuesto	Justificación técnica
Tipo de servicio	Internet dedicado empresarial	Garantiza estabilidad y desempeño para aplicaciones críticas.
Arquitectura de redundancia	<i>Working/Stand-by</i>	Permite continuidad operativa ante fallas.
Medio de transmisión	Fibra óptica	Ofrece alta capacidad, baja latencia y alta confiabilidad.
Mecanismo de protección	<i>Failover</i> automático	Reduce tiempos de interrupción del servicio
Disponibilidad objetivo	$\geq 99,9 \%$	Cumple los requerimientos de servicios críticos empresariales.
Tipo de tráfico soportado	Voz, datos y aplicaciones en la nube	Garantiza compatibilidad con servicios empresariales modernos
Protocolo de enrutamiento	Enrutamiento estático o dinámico según proveedor	Facilita la gestión y recuperación ante fallas.

Latencia esperada	Baja (< 50 ms)	Fundamental para telefonía IP y atención al cliente.
Escalabilidad	Alta	Permite crecimiento del negocio sin rediseños significativos.
Monitoreo	24/7	Permite detectar y corregir incidentes rápidamente.
SLA objetivo	99,9 % o superior	Garantiza calidad y disponibilidad del servicio.
Tiempo de recuperación (RTO)	Menor a 1 minuto	Minimiza el impacto en la operación del <i>call center</i> .

Fuente: Elaboración propia a partir de consulta técnica realizada al personal de Liberty Networks

3.2.5 Mecanismos de redundancia y protección. La solución propuesta incorpora mecanismos de redundancia diseñados para garantizar una alta disponibilidad y minimizar las interrupciones del servicio. El esquema principal utilizado es una configuración de trabajo/reserva, con un enlace principal activo y un enlace secundario listo para asumir el control en caso de fallo (ver figura 5).

La solución incluye mecanismos de conmutación por error automática, que permiten el cambio de enlace sin intervención manual y reducen los tiempos de recuperación. La combinación de estos mecanismos mejora significativamente la resiliencia de la infraestructura de telecomunicaciones del cliente.

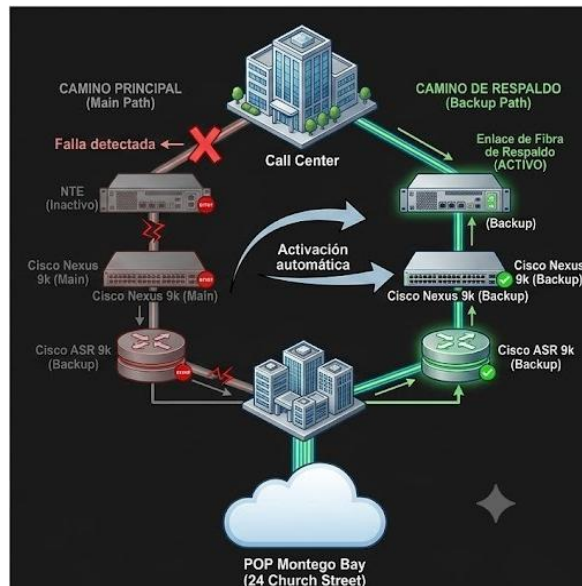


Figura 8. Mecanismo de *failover*

Fuente: Elaboración propia

3.2.6 Equipos y elementos de red. La solución requiere diversos equipos y componentes de telecomunicaciones para garantizar el correcto funcionamiento del servicio. Entre los componentes clave se incluyen equipos NTE para la terminación del servicio, enrutadores para la gestión del tráfico y equipos de distribución de red en las instalaciones del cliente.

También se utilizará infraestructura de fibra óptica para la transmisión de datos entre el punto de venta (PoP) de Liberty Networks y el centro de llamadas. El equipo seleccionado debe ser compatible con capacidades de nivel empresarial.

Tabla 14. Equipos considerados en el diseño

Equipo	Ubicación	Función Principal	Solución
<i>Router</i> de borde Liberty Networks	PoP del proveedor	Gestionar la conexión hacia la red <i>backbone</i> .	Punto de acceso a la infraestructura principal del proveedor.
Equipo NTE (<i>Network Termination Equipment</i>)	Instalaciones del cliente	Finalizar el servicio de telecomunicación.	Permite la interconexión física entre

		nes entregado por el proveedor.	proveedor y cliente.
<i>Router</i> empresarial del cliente	Cuarto técnico del <i>call center</i>	Administrar el tráfico de red y la redundancia.	Coordina el funcionamiento de los enlaces <i>Working/Stand-by</i> .
Switch de distribución	Red LAN del <i>call center</i>	Distribuir la conectividad hacia usuarios y sistemas internos.	Permite la operación de los equipos de trabajo.
Transceptores ópticos	Extremos de los enlaces de fibra	Conversión de señales ópticas y eléctricas.	Habilitan la transmisión sobre fibra óptica.
Sistema UPS	Cuarto técnico	Respaldo eléctrico para los equipos de telecomunicaciones.	Mantiene la operación ante fallas eléctricas temporales.
Sistema de monitoreo de red	Centro de gestión del proveedor	Supervisión de disponibilidad y desempeño.	Permite identificar incidentes y degradaciones del servicio.
Servidor de monitoreo (NMS)	Red de gestión	Recolección de métricas y generación de alertas.	Facilita la administración proactiva de la red.
ODF (<i>Optical Distribution Frame</i>)	Cuarto técnico y PoP	Organización y terminación de fibras ópticas.	Facilita mantenimiento y gestión de conexiones.
<i>Patch Panel</i> de fibra óptica	Instalaciones del cliente	Distribución física de los enlaces ópticos.	Mejora la organización de la infraestructura.

Fuente: Elaboración propia a partir de consulta técnica realizada al personal de Liberty Networks

3.2.7 Validación técnica del diseño. La validación técnica del diseño se realizó considerando los requisitos identificados en el análisis inicial del proyecto. Se verificó que la arquitectura propuesta cumple con los criterios de alta disponibilidad, redundancia y continuidad operativa necesarios para el funcionamiento del centro de llamadas. También se evaluó la capacidad de recuperación ante fallos mediante mecanismos de conmutación por error y rutas de fibra óptica independientes.

La solución diseñada cumple además con los parámetros de estabilidad, baja latencia y soporte para aplicaciones de comunicación críticas y servicios en la nube, como puede evidenciarse en la tabla de validación de cumplimiento técnico (tabla 9). Es por ello, que el diseño propuesto es técnicamente viable y satisface adecuadamente las necesidades operativas y de conectividad del cliente.

Tabla 15. Validación de cumplimiento técnico

Requisito identificado	Solución implementada	Resultado esperado	Cumple
Alta disponibilidad del servicio	Implementación de doble ruta de fibra óptica	Continuidad operativa ante fallas	Sí
Redundancia de última milla	Configuración <i>Working/Stand-by</i>	Eliminación de puntos únicos de falla	Sí
Recuperación automática	Sistema de <i>failover</i> automático	Conmutación inmediata al enlace de respaldo	Sí
Baja latencia	Uso de fibra óptica dedicada	Mejor desempeño para voz y datos	Sí
Soporte para telefonía IP	Infraestructura de alta capacidad	Calidad estable en comunicaciones	Sí
Cumplimiento de SLA	Diseño alineado con políticas del proveedor	Disponibilidad superior al 99,9 %	Sí
Estabilidad del servicio	Monitoreo permanente de la red	Detección temprana de incidentes	Sí
Escalabilidad futura	Arquitectura modular basada en fibra óptica	Incremento de capacidad sin rediseño total	Sí
Resiliencia ante cortes físicos	Rutas independientes de fibra óptica	Reducción del riesgo de interrupciones simultáneas	Sí
Continuidad operativa del call center	Integración de mecanismos de protección y respaldo	Operación ininterrumpida de servicios críticos	Sí

Compatibilidad con servicios empresariales	Diseño orientado a voz, datos y nube	Soporte de aplicaciones actuales y futuras	Sí
Facilidad de mantenimiento	Infraestructura organizada y documentada	Menor tiempo de atención ante incidentes	Sí

Fuente: Elaboración propia a partir de consulta técnica realizada al personal de Liberty Networks

3.3 VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN MEDIANTE MÉTODO DELPHI

3.3.1 Selección de expertos. Con el fin de validar la solución diseñada, se empleó el método Delphi, una técnica basada en la consulta estructurada a expertos para obtener una evaluación objetiva sobre la viabilidad y pertinencia de una propuesta [29]. Para este proyecto participaron dos profesionales con experiencia en diseño, implementación y operación de redes de telecomunicaciones empresariales.

La selección de los expertos se realizó considerando su experiencia en infraestructura de telecomunicaciones, servicios de conectividad empresarial y diseño de soluciones de alta disponibilidad. Su participación permitió contrastar la solución propuesta frente a criterios técnicos, funcionales y de calidad previamente establecidos.

3.3.2 Aplicación del instrumento de evaluación. La validación se realizó mediante una encuesta estructurada utilizando una escala de Likert de cinco niveles, donde 1 corresponde a "Totalmente en desacuerdo" y 5 a "Totalmente de acuerdo". Las preguntas fueron diseñadas para evaluar el cumplimiento de los requerimientos del cliente, los requisitos técnicos de la solución y los atributos de calidad asociados a disponibilidad, redundancia, escalabilidad y continuidad operativa. El instrumento completo utilizado para la consulta a expertos se presenta en el Anexo A y B.

3.3.3 Validación técnica del diseño. La validación técnica del diseño se realizó mediante la aplicación del método Delphi, una técnica de consulta estructurada utilizada para obtener la opinión y el juicio de expertos sobre una propuesta específica. Este método permitió evaluar la solución diseñada a partir de criterios técnicos previamente definidos y relacionados con los objetivos del proyecto.

Para ello, se elaboró un instrumento de evaluación compuesto por preguntas orientadas a verificar el cumplimiento de los requerimientos del cliente, los requisitos técnicos de la solución y los atributos de calidad establecidos para el servicio. Entre los aspectos evaluados se incluyeron la disponibilidad de la infraestructura, la

redundancia de las rutas de fibra óptica, la capacidad de crecimiento de la solución, la continuidad operativa ante fallas y la adecuación de los equipos seleccionados.

La consulta fue dirigida a profesionales con experiencia en telecomunicaciones, diseño de redes empresariales y servicios de conectividad, quienes valoraron cada criterio mediante una escala de calificación. El instrumento utilizado para la validación se presenta en el Anexo A, mientras que los resultados y su respectivo análisis se presentan en el Anexo B.

3.3.4 Análisis de resultados. La validación de la solución propuesta se realizó mediante consulta a expertos utilizando el método Delphi, con el propósito de verificar el cumplimiento de los requerimientos del cliente, los requisitos técnicos definidos para el proyecto y los atributos de calidad asociados a la infraestructura de telecomunicaciones diseñada.

A partir de la evaluación realizada, se evidenció que la arquitectura propuesta responde adecuadamente a las necesidades operativas del call center ubicado en Montego Bay, Jamaica. Los expertos consultados coincidieron en que la utilización de una infraestructura de fibra óptica monomodo, junto con un esquema de protección Working/Stand-by, constituye una alternativa técnicamente viable para garantizar altos niveles de disponibilidad y continuidad del servicio.

La implementación de dos rutas físicamente independientes fue considerada una práctica adecuada para reducir los riesgos asociados a fallas en la última milla. La independencia aproximada del 98 % entre los enlaces permite disminuir significativamente la probabilidad de interrupciones simultáneas, fortaleciendo la resiliencia de la solución y contribuyendo al cumplimiento de los acuerdos de nivel de servicio establecidos.

En relación con los atributos de calidad definidos para el proyecto, los expertos determinaron que la solución cumple con los criterios de disponibilidad, escalabilidad, confiabilidad y capacidad de recuperación ante fallas. La capacidad instalada de hasta 10 Gbps fue identificada como un factor que facilita el crecimiento futuro del servicio, mientras que el mecanismo de conmutación automática con tiempos de recuperación del orden de milisegundos contribuye a minimizar el impacto de posibles incidentes sobre la operación del cliente.

Los resultados obtenidos permitieron validar la coherencia entre los requerimientos planteados por el cliente y los elementos incorporados en el diseño. La consulta a expertos confirmó que la solución propuesta se encuentra alineada con las buenas prácticas de diseño de redes empresariales de alta disponibilidad y representa una alternativa adecuada para garantizar la continuidad operativa de servicios críticos de telecomunicaciones.

4 CONCLUSIONES

- A partir del análisis de los requerimientos técnicos del cliente y de las capacidades de la infraestructura de Liberty Networks, fue posible identificar las condiciones necesarias para el diseño de una solución de conectividad redundante. Este análisis permitió establecer criterios relacionados con disponibilidad, continuidad operativa, capacidad de transmisión y niveles de servicio, fundamentales para garantizar el correcto funcionamiento del *call center* ubicado en Montego Bay, Jamaica.
- Se definió una arquitectura de red basada en fibra óptica monomodo con esquema de protección Working/Stand-by, compuesta por dos rutas físicamente independientes y mecanismos de conmutación automática que permiten garantizar altos niveles de disponibilidad, continuidad operativa y capacidad de crecimiento futuro.
- La validación realizada mediante consulta a expertos utilizando el método Delphi permitió verificar que la solución propuesta cumple con los requerimientos del cliente, los requisitos técnicos definidos para el proyecto y los atributos de calidad relacionados con disponibilidad, redundancia, resiliencia y escalabilidad, confirmando así su viabilidad técnica para su implementación.
- El diseño desarrollado evidencia que la incorporación de redundancia en la última milla constituye una estrategia efectiva para minimizar el impacto de fallas sobre servicios críticos de telecomunicaciones, contribuyendo al cumplimiento de los acuerdos de nivel de servicio y a la continuidad de las operaciones empresariales.
- Para esta solución, la fibra óptica continúa siendo la tecnología más adecuada para el desarrollo de soluciones de conectividad empresarial de alta capacidad y disponibilidad, debido a sus características de velocidad, estabilidad, baja latencia y capacidad de crecimiento, permitiendo responder a las necesidades actuales y futuras de las organizaciones.

RECOMENDACIONES

Debido a la naturaleza de este trabajo, no se pudo realizar la implementación física de la solución propuesta. Por ese motivo, se sugiere efectuar pruebas operativas en un entorno real, con el fin de validar parámetros de desempeño como disponibilidad, tiempos de recuperación ante fallas, latencia y cumplimiento de los acuerdos de nivel de servicio. Asimismo, se podría evaluar la incorporación de mecanismos adicionales de protección y monitoreo para fortalecer aún más la resiliencia de la infraestructura diseñada.

REFERENCIAS

- [1] International Telecommunication Union, “The Last-mile Internet Connectivity Solutions Guide: Sustainable connectivity options for unconnected sites, 2020”. [En línea]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/tnd/D-TND-01-2020-PDF-E.pdf
- [2] C. Juan, Y. Shuai, and M. Hong, *Study and implementation of SpaceWire network redundancy technology based on FPGA*, vol. 6. IEEE, 2014, pp. 1–5.
Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6936259> (doi: 10.1109/spacewire.2014.6936259).
- [3] International Telecommunication Union, “Terms and definitions for network protection and restoration”, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.808-201611-I/es>
- [4] N. Niknami, A. Sawwan y J. Wu, *A Failover Mechanism for SFC Requests in Next-Generation Networks*, IEEE Transactions on Reliability, 2024. [En línea]. Disponible en: https://cis.temple.edu/~wu/research/publications/Publication_files/IEEEReliability-Niknami.pdf
- [5] S. Li, M. Wang, H. Overby, E. W. M. Wong, y M. Zukerman, “Performance evaluation of a bufferless OBS/OPS network with 1 + 1 path protection,” IEEE Photonics Technology Letters, vol. 27, no. 20, pp. 2115–2118, Jul. 2015, doi: 10.1109/lpt.2015.2453204
- [6] L. Vargas, *Sistemas de fibra óptica*. México: Prenti Hall. Disponible en: https://www.academia.edu/download/43740274/SISTEMAS_DE_FIBRA_OPTICA_-_Ibrahim_Alonso_Vargas.pdf
- [7] A. Zaballos, S. Cabello, P. Gabarró, E. Rodríguez, and M. Dalio, “Challenges in the growth of fiber in Latin America and the Caribbean,” Sep. 2023.
Disponible en: <https://publications.iadb.org/en/challenges-growth-fiber-latin-america-and-caribbean> (doi: 10.18235/0005153).

[8] M. Goodwin, “¿Qué es un SLA (acuerdo de nivel de servicio)?,” *IBM*, Nov. 28, 2025. [En línea] Disponible en: <https://www.ibm.com/es-es/think/topics/service-level-agreement>

[9] O. Quispe, “Una Medición a Gran Escala de la Red Starlink Basada en IPv6,” *Unac*, Mar. 2026, [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/165109281/Una_Medici%C3%B3n_a_Gran_Escala_de_la_Red_Starlink_Basada_en_IPv6

[10] J. Svoboda, I. Ghafir, and V. Prenosil, “Network Monitoring Approaches: An Overview,” *International Journal of Advances in Computer Networks and Its Security– IJCNS*, vol. Volume 5, no. 2, Oct. 2015, [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/305957483_Network_Monitoring_Approaches_An_Overview.

[11] C. Oggerino, *High availability network fundamentals*. Cisco Press, 2001. [En línea]

[12] A. Tanenbaum y D. Wetherall, *Computer Networks*, 5th ed. Pearson Education, 2011.

[13] “Resilience Study insights and framework of evaluation,” *ITU*, Sep. 10-12.

[14] International Telecommunication Union, “Transport network support of IMT-2020/5G”. [En línea]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-HOME-2018-PDF-E.pdf

[15] “¿Qué es la saturación de red? – Conecttic,” Jul. 04, 2022. <https://www.conecttic.net/2022/07/04/saturacion-de-red/>

[16] “Conectividad empresarial 2025”, *Claro Empresas Noticias*. [En línea] Disponible en: <https://www.claro.com.co/empresas/noticias-interes/conectividad-empresarial-2025/>

[17] O. Quispe, “Una Medición a Gran Escala de la Red Starlink Basada en IPv6,” *Unac*, Mar. 2026, [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/165109281/Una_Medici%C3%B3n_a_Gran_Escala_de

la Red Starlink Basada en IPv6

[18] “Centros de datos — Tecnología de la información e industrias creativas en Colombia”, *Invest in Colombia*.

<https://investincolombia.com.co/es/sectores/tecnologia-de-la-informacion-e-industrias-creativas/centros-de-datos>

[19] “NetActuate expands South American presence with new POPs in Bogotá and Barranquilla”, *NetActuate News*. <https://www.netactuate.com/news/netactuate-expands-south-american-presence-with-new-pops-in-bogota-and-barranquilla>

[20] NetActuate, “NetActuate expands South American presence with new POPs in Bogotá and Barranquilla”. [En línea]. Disponible en: <https://www.netactuate.com/news/netactuate-expands-south-american-presence-with-new-pops-in-bogota-and-barranquilla>

[21] A. Lozano, “Diseño e implementación de una red de alta disponibilidad para la sede critica en ADECCO Colombia,” Trabajo de grado, Fundación Universitaria Los Libertadores, 2017.

[22] Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación “Staff View: Diseño de una red LAN para la empresa BPO S.A.S, Bogotá DC.” [En línea]. Disponible en: https://redcol.minciencias.gov.co/Record/COOPER2_9b93615e23d6e5964c1ab1f3f82f7a09/Details

[23] Enlaza.mx, “Redundancia en centros de llamadas: la clave para operaciones ininterrumpidas”. Tomado de: <https://enlaza.mx/blog/redundancia-en-centros-de-llamadas-la-clave-para-operaciones-ininterrumpidas/>

[24] Revista EYN, “Más de 100 centros del sector BPO y call centers operan en Centroamérica actualmente”. [En línea]. Disponible en: <https://www.revistaeyn.com/empresasymanagement/mas-de-100-centros-del-sector-bpo-y-call-centers-operan-en-centroamerica-actualmente-OK26790259>

[25] IDB Invest, “IDB Invest supports FYCO expand fiber-optic connectivity Latin America and Caribbean”. [En línea]. Disponible en: <https://www.idbinvest.org/en/news-media/idb-invest-supports-fyco-expand-fiber-optic-connectivity-latin-america-and-caribbean>

[26] CISCO, "Cisco ASR 1001-X Router Overview." [En línea]. Disponible en: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/routers/asr1000/install/guide/1001-x/asr1000-book/router_overview.pdf

[27] "Cisco Nexus 9300-FX Series Switches Data Sheet," Cisco, Nov. 08, 2023. <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/nexus-9000-series-switches/datasheet-c78-742284.html>

[28] "Cisco Catalyst 8200 Series Edge Platforms Data Sheet," Cisco, Jun. 10, 2025. <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/catalyst-8200-series-edge-platforms/nb-06-cat8200-series-edge-plat-ds-cte-en.html>

[29] Ministerio del Trabajo, "METODO DELPHI" [En línea]. Disponible en: <https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/59676/Proceso+Delphi.pdf/c46868fe-eeb4-30d1-f77c-484fb5e98f59>

ANEXO A

Aplicación del método Delphi para la validación de la solución

Con el fin de validar el cumplimiento de los requisitos establecidos para la solución propuesta, se empleó el método Delphi, una técnica de consulta estructurada basada en la opinión de expertos. Este método permite obtener consenso sobre la pertinencia y viabilidad de una propuesta mediante la evaluación de criterios técnicos previamente definidos.

Para este proyecto se consultaron profesionales con experiencia en diseño y operación de redes de telecomunicaciones empresariales. Los expertos evaluaron la solución propuesta considerando aspectos relacionados con disponibilidad, redundancia, desempeño, escalabilidad y cumplimiento de los requerimientos del cliente.

La valoración se realizó utilizando una escala de Likert de 1 a 5, donde:

- 1 = Totalmente en desacuerdo
- 2 = En desacuerdo
- 3 = Neutral
- 4 = De acuerdo
- 5 = Totalmente de acuerdo

Anexo 1: Instrucciones Aplicación del método Delphi para la validación de la solución.

Encuesta de validación técnica mediante método Delphi

Información del experto

Nombre (opcional): _____

Cargo: _____

Empresa: _____

Años de experiencia en telecomunicaciones: _____

Especialidad:

- ☐ Redes IP
- ☐ Transporte óptico
- ☐ Operación de redes
- ☐ Diseño de infraestructura
- ☐ Otra: _____

Temática a evaluar	Pregunta	1 = Totalmente en desacuerdo 2 = En desacuerdo 3 = Neutral 4 = De acuerdo 5 = Totalmente de acuerdo				
		1	2	3	4	5
Disponibilidad y continuidad operativa	La solución propuesta garantiza la continuidad operativa del call center ante una falla de conectividad.					
	La arquitectura Working/Stand-by es adecuada para los requerimientos del cliente.					
	La disponibilidad propuesta del 99.8% es adecuada para este tipo de servicio.					
Redundancia y resiliencia	Las rutas de fibra óptica seleccionadas proporcionan un nivel adecuado de redundancia.					
	El nivel de independencia física entre rutas es suficiente para minimizar puntos únicos de falla.					

Anexo 2: Encuesta de validación técnica Mediante método Delphi (Página 1).

	El mecanismo de failover automático fortalece la resiliencia de la solución.					
Diseño técnico	El uso de fibra óptica monomodo es adecuado para la distancia del enlace.					
	Los equipos seleccionados son apropiados para soportar la capacidad requerida.					
	La arquitectura física y lógica propuesta es técnicamente viable.					
Escalabilidad y desempeño	La solución permite crecimiento futuro de capacidad sin modificaciones significativas.					
	La capacidad de 1 Gbps satisface los requerimientos actuales del cliente.					
	La infraestructura propuesta puede soportar ampliaciones hasta 10 Gbps.					
Evaluación general	La solución cumple los requerimientos del cliente.					
	La solución cumple los requisitos técnicos definidos para el proyecto.					
	Recomendaría la implementación de esta solución en un entorno similar.					

Comentarios y recomendaciones del experto

Anexo 3: Encuesta de validación técnica Mediante método Delphi (Página 2).

ANEXO B

Encuesta de validación técnica mediante método Delphi

Información del experto

Nombre (opcional): _____ Wendy Muralles _____

Cargo: _____ Analista Senior de Seguridad IT _____

Empresa: _____ Liberty Latin America _____

Años de experiencia en telecomunicaciones: _____ 18 _____

Especialidad:

☒ Redes IP

☐ Transporte óptico

☒ Operación de redes

☒ Diseño de infraestructura

☐ Otra: _____

Temática a evaluar	Pregunta	1 = Totalmente en desacuerdo 2 = En desacuerdo 3 = Neutral 4 = De acuerdo 5 = Totalmente de acuerdo				
		1	2	3	4	5
Disponibilidad y continuidad operativa	La solución propuesta garantiza la continuidad operativa del call center ante una falla de conectividad.					X
	La arquitectura Working/Stand-by es adecuada para los requerimientos del cliente.					X
	La disponibilidad propuesta del 99.8% es adecuada para este tipo de servicio.					X
Redundancia y resiliencia	Las rutas de fibra óptica seleccionadas proporcionan un nivel adecuado de redundancia.					X
	El nivel de independencia física entre rutas es suficiente para minimizar puntos únicos de falla.					X

Anexo 4: Encuesta de validación técnica Mediante método Delphi, primer experto (Página 1).

	El mecanismo de failover automático fortalece la resiliencia de la solución.					
Diseño técnico	El uso de fibra óptica monomodo es adecuado para la distancia del enlace.					X
	Los equipos seleccionados son apropiados para soportar la capacidad requerida.					X
	La arquitectura física y lógica propuesta es técnicamente viable.					X
Escalabilidad y desempeño	La solución permite crecimiento futuro de capacidad sin modificaciones significativas.				X	
	La capacidad de 1 Gbps satisface los requerimientos actuales del cliente.					X
	La infraestructura propuesta puede soportar ampliaciones hasta 10 Gbps.					X
Evaluación general	La solución cumple los requerimientos del cliente.					X
	La solución cumple los requisitos técnicos definidos para el proyecto.					X
	Recomendaría la implementación de esta solución en un entorno similar.					X

Comentarios y recomendaciones del experto

Respecto a la escalabilidad, si bien la infraestructura soporta hasta 10 Gbps, un crecimiento significativo de tráfico podría requerir la revisión de los equipos NTE y la renegociación del SLA con el cliente.

Encuesta de validación técnica mediante método Delphi

Información del experto

Nombre (opcional): _____ Nicolas Herrera _____

Cargo: _____ Network Security Manager _____

Empresa: _____ Liberty Latin America _____

Años de experiencia en telecomunicaciones: _____ 13 _____

Especialidad:

☒ Redes IP

☐ Transporte óptico

☒ Operación de redes

☒ Diseño de infraestructura

☐ Otra: _____

Temática a evaluar	Pregunta	1 = Totalmente en desacuerdo 2 = En desacuerdo 3 = Neutral 4 = De acuerdo 5 = Totalmente de acuerdo				
		1	2	3	4	5
Disponibilidad y continuidad operativa	La solución propuesta garantiza la continuidad operativa del call center ante una falla de conectividad.					X
	La arquitectura Working/Stand-by es adecuada para los requerimientos del cliente.					X
	La disponibilidad propuesta del 99.8% es adecuada para este tipo de servicio.					X
Redundancia y resiliencia	Las rutas de fibra óptica seleccionadas proporcionan un nivel adecuado de redundancia.					X
	El nivel de independencia física entre rutas es suficiente para minimizar puntos únicos de falla.				X	

	El mecanismo de failover automático fortalece la resiliencia de la solución.				X	
Diseño técnico	El uso de fibra óptica monomodo es adecuado para la distancia del enlace.					X
	Los equipos seleccionados son apropiados para soportar la capacidad requerida.					X
	La arquitectura física y lógica propuesta es técnicamente viable.					X
Escalabilidad y desempeño	La solución permite crecimiento futuro de capacidad sin modificaciones significativas.					X
	La capacidad de 1 Gbps satisface los requerimientos actuales del cliente.					X
	La infraestructura propuesta puede soportar ampliaciones hasta 10 Gbps.					X
Evaluación general	La solución cumple los requerimientos del cliente.					X
	La solución cumple los requisitos técnicos definidos para el proyecto.					X
	Recomendaría la implementación de esta solución en un entorno similar.					X

Comentarios y recomendaciones del experto

Está muy bien dimensionado para un escenario realista en una empresa de telecomunicaciones regional. Se recomienda prestar especial atención a la actualización periódica de la infraestructura, plataformas y dispositivos a lo largo del tiempo, ya que la obsolescencia tecnológica puede comprometer seriamente la escalabilidad y sostenibilidad del proyecto a futuro.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Actividades para realizar según los objetivos propuestos	11
Tabla 2. Requerimientos del cliente	23
Tabla 3. Requisitos de solución.....	23
Tabla 4. Matriz de trazabilidad	24
Tabla 5. Comparación entre las alternativas tecnológicas	27
Tabla 6. Características físicas de la infraestructura propuesta	29
Tabla 7. Caracterización del equipo Cisco ASR 1001-X	32
Tabla 8. Caracterización del equipo Cisco Nexus 93180YC-FX	32
Tabla 9. Caracterización del equipo Cisco Catalyst C8200-1N-4T.....	33
Tabla 10. Comparación de rutas físicas propuestas	35
Tabla 11. Componentes principales de la arquitectura	36
Tabla 12. Características físicas de la solución.....	38
Tabla 13. Parámetros de QoS lógicos del diseño	39
Tabla 14. Equipos considerados en el diseño	41
Tabla 15. Validación de cumplimiento técnico.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Infraestructura disponible de transporte de Liberty Networks	22
Figura 2. Arquitectura general de la solución	29
Figura 3. Cisco ASR 1001-X	32
Figura 4. Cisco Nexus 93180YC-FX	32
Figura 5. Cisco Catalyst C8200-1N-4T.....	33
Figura 6. Ruta física principal (<i>Working</i>) propuesta entre el PoP de Liberty Networks y el <i>call center</i> en Montego Bay, Jamaica.	34
Figura 7. Ruta física <i>backup</i> (<i>Standby</i>) propuesta entre el PoP de Liberty Networks y el <i>call center</i> en Montego Bay, Jamaica	35
Figura 8. Mecanismo de <i>failover</i>	41