Universidad Nacional de Ingeniería

Área de Conocimiento de Tecnología de la Información y Comunicación

Diseño Backbone de Fibra Óptica destinado a sustituir un Radio Enlace en Electrycomp S.A.

Trabajo Monográfico para optar al título de Ingeniero Electrónico

Elaborado por:

Br. José Emmanuel Pérez Laguna
Carnet: 2016-0711U

Br. Carlos José Quiroz Martínez
Carnet: 2016-0359U

Br. Juan Carlos Cáceres Pérez
Carnet: 2016-0972U

Tutor:

Ing. Jorge Isaac González Paguaga

24 de abril de 2026
Managua, Nicaragua

Managua, 23 de abril 2026

MSc. Claudia Benavidez Rugama
Directora
Área de Conocimiento de Tecnología de la Información y la Comunicación
UNI
Su Despacho.

Estimada Máster Benavidez:

Reciba cordiales saludos de mi parte, deseándole mucho éxito en sus funciones diarias.

El motivo de la presente es para comunicarle que, en mi calidad de Tutor de monografía presentada por: **Br. Juan Carlos Cáceres Pérez (2016-0972U), Br. Carlos José Quiroz Martínez (2016-0359U) y Br. José Emmanuel Pérez Laguna (2016-0711U)**, de la carrera de Ingeniería en Electrónica, cuyo tema es: **"Diseño Backbone de Fibra Óptica destinado a sustituir un Radio Enlace en Electrycomp S.A"**; considero que dicho trabajo reúne los requisitos según la normativa de culminación de estudios de la UNI, para ser sometido a presentación y defensa ante el tribunal examinador que designe.

Sin nada más que agregar, le saludo.

Atentamente,

Ing. Jorge Isaac González Paguaga
Docente Tutor
Ingeniería en Telecomunicaciones
DACTIC UNI

Área de Conocimiento de
Tecnología de la Información
y Comunicación

Managua, 13 de abril 2026

Br. José Emmanuel Pérez Laguna 2016-0711U
Br. Carlos José Quiroz Martínez 2016-0359U
Br. Juan Carlos Cáceres Pérez 2016-0972U
Egresados Programa académico Ingeniería Electrónica
Sus manos. -

Estimados Bachilleres:

Reciban cordiales saludos y éxito en sus actividades.

De acuerdo a carta recibida con fecha 10 de abril del presente año, en donde hacen solicitud de corrección del tema monográfico titulado: ***"Propuesta de diseño Backbone de fibra óptica destinado a sustituir un radio enlace en Electrycomp S.A."****, tomando en consideración las justificaciones expuestas de que fue recomendado por los jurados, tengo a bien comunicarles que se les autoriza dicha corrección quedando el tema de trabajo monográfico a:* ***"Diseño Backbone de fibra óptica destinado a sustituir un radio enlace en Electrycomp S.A."****.*

Esperando el cumplimiento con respecto al tiempo solicitado, les reitero mis saludos.

Atentamente,

Msc. Claudia Lucía Benavidez Rugama
Directora Área de Conocimiento de
Tecnología de la Información y Comunicación

CC Ing. Jorge Isaac González Paguaga– Tutor
MSc. Luisa Massiel Mercado Gutiérrez – Secretaria académica.
Archivo.

Móvil: (505) 8588 8333

Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

www.uni.edu.ni

INDICE

I. Introducción....1

II. Justificación....3

III. Objetivos....4

3.1. General....4

3.2. Específicos....4

IV. Marco Teórico....5

4.1 Fundamentos de las Redes de Telecomunicaciones....5

4.1.1 Introducción a las Redes de Telecomunicaciones....5

4.1.2 Importancia de la Capa Física y de Enlace....5

4.2 Sistemas de Radio Enlaces....6

4.2.1 Principios de transmisión por microondas....6

4.2.2 Limitaciones técnicas: Zona de Fresnel, desvanecimiento e interferencias....7

4.2.3 Justificación del reemplazo en entornos corporativos....8

4.3 Fundamentos de la Fibra Óptica....9

4.3.1 Principios Físicos: Refracción y Ley de Snell....9

4.3.2 Tipos de Fibra Óptica: Monomodo vs. Multimodo....10

4.3.3 Ventanas de Transmisión y Atenuación....11

4.3.4 Dispersión en Fibra Óptica....11

4.4 Diseño de Redes Backbone....13

4.4.1 Definición y Topologías....13

4.4.2 Elementos Pasivos y Activos....14

4.5 Técnicas de Medición y Caracterización....14

4.5.1 Caracterización de la Fibra (Reflectometría)....14

4.5.2 Medición de Pérdida de Inserción (OLTS) 15
4.6 Normativas y Estándares Internacionales 15
4.6.1 Estándares ANSI/TIA 15
4.6.2 Recomendaciones ITU-T (Serie G) 16
V. Metodología del Proyecto 17
5.1. Definición de Alcances y Recopilación de Datos 17
5.1.1. Ubicación del estudio 17
5.1.2. Área de estudio 17
5.1.3. Tipo de investigación 17
5.1.4. Población y muestra de investigación 17
5.2. Definición de Técnica a utilizar y definición de equipo 17
5.2.1. Estrategia de investigación cuantitativa. 17
5.2.2. Medios y Equipos a utilizar. 18
5.3. Ejecución de Técnicas para obtención de resultados y Equipos de protección personal. 18
5.3.1. Proceso de elaboración 18
5.3.2. Equipos de Protección Personal. 18
5.4. Realizar documentación final de propuesta. 19
5.4.1. Realización de Informe y oferta económica. 19
VI. Desarrollo del proyecto 20
6.1. Caracterización del Radio enlace y Necesidades Existente 20
6.1.1 Identificación de Necesidades de Capacidad y Escalabilidad 20
6.1.2 Seguridad y Resiliencia de la Infraestructura 20
6.1.3 Proyección de Escalabilidad a Largo Plazo 21
6.1.4 La Superioridad del Backbone de Fibra para Electrycomp 22

6.2. Levantamiento del enlace troncal de planta externa para identificar la ruta optima. 23
6.2.1 Actividades Realizadas 24
6.3. Algunas herramientas utilizadas 26
6.3.1 Detección de señales del satélite: 27
6.3.2 EPP (Equipos de Protección Personal). 30
6.3.2 Inventario y Codificación de Postería 31
6.4. Diseño de Ruta y Validación de Campo (Punto A - Punto B) 36
6.5. Reporte de precios y lista de materiales. 38
6.6 Oferta económica recibida 41
VII. Conclusiones 47
VIII. Recomendaciones 49
IX. Referencias Bibliográficas 50

INDICE DE FIGURAS

Figura.1. Fórmula para el cálculo del radio de la primera zona de Fresnel……...7
Figura.2. Simulación de parámetros de entorno del radio enlace con herramienta del proveedor……..8
Figura.3. Representación de la Ley de Snell para la refracción de la luz……..9
Figura.4. Estación Base, Barrio Betancourt……..23
Figura.5. Estación Base, Barrio Laureles Norte……24
Figura.6. Ruta extraída de Google Maps, trayecto principal……25
Figura.7. Ruta extraída de Google Maps, trayecto de respaldo……..25
Figura.8. Odómetro utilizado en el levantamiento……26
Figura.9. Dispositivo GPS Garmin Serie GPSMAP 62 utilizado para el levantamiento de ruta……..27
Figura.10 Botas Dieléctrica……30

Figura.11. Chaleco Reflectivo……31
Figura.12. Casco de seguridad……...31
Figura.13. Puntos exportados de Garmin, rutas Principal y Respaldo en Software Garmin BaseCamp……36
Figura.14. Modelado en AutoCAD de la ruta principal……...37
Figura.15. Modelado en AutoCAD de la ruta de respaldo……..……37
Figura.16. Diagrama de extracción de datos……..…38
Figura.17. Representación de presupuesto dado por DISMATEL……41
Figura.18. Cruceta 80x80CM, proporcionada por DISMATEL……42
Figura.19. ODF DE 48H, proporcionada por DISMATEL……42
Figura.20. Preformada Punto Verde, proporcionada por DISMATEL……..…44
Figura.21. Abrazadera 2 partes , proporcionada por DISMATEL……45
Figura.22. Herraje para poste de concreto……46
Figura.23. Cable de fibra óptica……46

INDICE DE TABLAS

Tabla.1. Clasificación de los tipos de dispersión y estrategias de mitigación…..……13
Tabla.2. Comparativa de rendimiento técnico entre radio enlace y fibra óptica..…..21
Tabla.3. Presupuesto para enlace principal……..32
Tabla.4. Presupuesto para enlace secundario……34
Tabla.5. Presupuesto para enlace principal……...…39
Tabla.6. Presupuesto para enlace secundario……..40

ANEXOS

Anexo A: Inicio del Recorrido (Nodo Laureles Norte)……I
Anexo B: Primer poste en ruta (Poste de tendido Eléctrico)……II
Anexo C: Vista panorámica nodo Laureles Norte (Nodo Laureles Norte)……..II
Anexo D: Segundo poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……III
Anexo E: Tercer poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……III

Anexo F: Cuarto poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……IV
Anexo G: Quinto poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……..……IV
Anexo H: Sexto poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……..V
Anexo I: Noveno poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……V
Anexo J: Decimo poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……VI
Anexo K: Undecimo poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……VI
Anexo L: Duodecimo poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……VII
Anexo M: Decimotercer poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……VII
Anexo N: Decimocuarto poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……..VIII
Anexo Ñ: Decimoquinto poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……..VIII
Anexo O: Decimosexto poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……IX
Anexo P: Decimoseptimo poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……IX
Anexo Q: Decimoctavo poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……X
Anexo R: Decimonoveno poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……..X
Anexo S: Vigésimo poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……..XI
Anexo T: Vigesimoprimer poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……XI
Anexo V: Vigesimosegundo poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……XII
Anexo W: Vigesimotercer poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……XII
Anexo X: Vigesimoquinto poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……XIII
Anexo Y: Vigesimosexto poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……XIII
Anexo Z: Vigesimosexto poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……XIV
Anexo AA: Vigesimoseptimo poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……XIV
Anexo AB: Vigesimoctavo poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……..XV
Anexo AC: Vigesimonoveno poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……..XV
Anexo AD: Vigesimonoveno poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……..XVI
Anexo AE: Trigesimo poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……..XVI
Anexo AF: Trigesimoprimer poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……..XVII
Anexo AG: Trigesimosegundo poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……XVII
Anexo AH: Trigesimotercer poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……XVIII
Anexo AI: Trigesimocuarto poste de ruta (Poste de tendido Eléctrico)……XVIII
Anexo AJ: *Trigesimoquinto poste de ruta* Poste de tendido Eléctrico)……XIX

Anexo AK: *Trigesimosexto poste de ruta* Poste de tendido Eléctrico)…….XIX
Anexo AL: *Trigesimoseptimo poste de ruta* Poste de tendido Eléctrico)…….XX
Anexo AM: *Trigesimoctavo poste de ruta* Poste de tendido Eléctrico)…….XX
Anexo AM: *Trigesimonoveno poste de ruta* Poste de tendido Eléctrico)……..XXI

Resumen

El presente trabajo monográfico surge como necesidad de optimización y ampliación de capacidad de un sistema de transmisión de datos troncal basado en radioenlace de la empresa Electrycomp S.A. que tiene como rol el ser proveedor de servicios de internet (ISP) el cual presenta limitaciones relacionadas a el ancho de banda actual, susceptibilidad a interferencias climáticas y un cercano crecimiento de tráfico de clientes masivos específicamente en este enlace ubicado en el departamento de Managua, por lo tanto se propone una migración a infraestructura de fibra óptica proporcionando una enlace robusto capaz de gestionar altas densidades de tráfico con baja latencia . El estudio parte del análisis de la infraestructura actual de la empresa, la cual utiliza un radioenlace para conectar dos puntos estratégicos situados entre el Barrio Betancourt y el Barrio Laureles Norte, con una distancia aproximada de 1.14 km. Aunque esta tecnología ha sido ampliamente utilizada para extender redes de comunicación de forma rápida y económica.

Este documento propone el diseño de backbone de fibra óptica como alternativa tecnológica para mejorar la escalabilidad y conectividad de la empresa. La fibra óptica ofrece ventajas significativas frente a los medios inalámbricos, entre ellas una mayor capacidad de transmisión, menor latencia, inmunidad a interferencias electromagnéticas y mayor seguridad en la transmisión de la información. Además, permite escalar la red a velocidades superiores, garantizando una infraestructura preparada para futuras necesidades tecnológicas sin requerir modificaciones estructurales en el medio físico.

El estudio demuestra que la migración del sistema de radioenlace hacia una red de fibra óptica constituye una solución técnica estratégica para Electrycomp S.A.
Este diseño de backbone permitirá mejorar la capacidad de transmisión de datos, garantizar una mayor estabilidad en la comunicación y reducir la dependencia de factores externos que afectan a los sistemas inalámbricos. De esta manera, la empresa podrá contar con una infraestructura moderna y confiable que fortalezca su

desempeño operativo y garantice la continuidad de sus servicios de telecomunicaciones a largo plazo.

Se ejecuto un levantamiento de campo utilizando herramientas tales como GPS, odómetro, equipos de protección personal y realizando un diseño de rutas modeladas en software AutoCAD, recopilando datos de las rutas trazadas, infraestructura existente en postes de la empresa de energía, proyectando una red de fibra monomodo que garantizara una alta disponibilidad y escalabilidad para conexión de futuros cliente. La migración a la red troncal de fibra incrementa considerablemente la capacidad de atención a clientes en comparación con el radioenlace actual. Con un ancho de banda inicial de 1 Gbps, la red permite gestionar de manera simultánea y estable a más de 100 clientes corporativos que se manejen perfiles de consumo promedio de 10 a 20 Mbps por cliente o en un esquema de servicios masivos, a unos 150 usuarios a más con una calidad de servicio superior y latencia mínima. El diseño propuesto no solo resuelve la saturación presente, sino que, gracias a la alta densidad de hilos disponibles, permite asignar fibras oscuras para servicios dedicados punto a punto, garantizando una escalabilidad inmediata para alcanzar a miles de usuarios mediante actualizaciones en la electrónica de red sin necesidad de modificar la infraestructura física

I. Introducción

Desde la antigüedad transmitir un mensaje desde un punto a otro ha sido fundamental en el desarrollo de las sociedades, con el enfoque persistente en la mejora de los métodos de comunicación se han logrado importantes avances en la eficiencia, rapidez de la entrega de información, decremento del impacto ambiental y reducción en los costes de implementación.

En Nicaragua las telecomunicaciones son parte fundamental en las comunicaciones de los diferentes sectores productivos del país, el lograr obtener una forma rápida de transmitir la información de un sector a otro se ha convertido en una necesidad en distintos rubros productivos logrando marcar la diferencia en estos últimos años, gracias a la innovación y aplicación de nuevas tecnologías.

Actualmente en el campo de transmisión de redes de datos se tiene como prioridad proporcionar conectividad y acceso a Internet de manera óptima, segura y con la menor latencia posible entregando una conexión estable. Una red fibra óptica brinda una serie de beneficios clave para mejorar la conectividad y el rendimiento de las redes de datos. Este medio físico ofrece una mayor capacidad de transmisión, menor latencia y una calidad de señal superior en comparación con los enlaces de radio, por lo tanto, es una conexión más rápida y estable.

La implementación de las telecomunicaciones por radio enlace terrestre tuvo históricamente un rol estratégico en el sector de las telecomunicaciones argentino y en las redes de comunicaciones corporativas. Ocupó un rol complementario en las redes locales que, inicialmente, se destinaban al servicio telefónico y posteriormente a otros servicios más modernos, como la fibra óptica. La principal ventaja del radio enlace fue agilizar la expansión territorial de la red, ocupando un lugar en la alta demanda de servicio. Sin dudas, hay que reconocer las ventajas técnicas comparativas de este verso, relativas al cable de pares o coaxial, que implica un costo sensiblemente más reducido respecto de la ejecución de capital para enlaces de similares características, como el alcance y la capacidad de transmisión.

Es fundamental una migración planificada y cuidadosa para evitar discontinuidades en el servicio existente. De esta forma, se garantiza un cambio sin grandes impactos en la operación diaria. Al realizar una migración de tecnología de transmisión punto a punto de radio enlace de microondas a tecnología de transmisión de fibra óptica, se debe tener en cuenta el rendimiento actual de la tecnología radioeléctrica, así como la ubicación estratégica de los elementos que intervienen en la Red de Acceso Física. La migración desde enlaces de radio punto a punto hacia una arquitectura de transporte multiservicio basada en fibra óptica permite simplificar y modernizar la red de comunicaciones, al mismo tiempo que permite lograr un importante ahorro en inversión y en gasto operativo. Este cambio se traduce en una mayor eficiencia en la transmisión de datos, mayor capacidad de transporte y una mayor fiabilidad en la comunicación, lo que se traduce en una mejor experiencia para los usuarios finales. Además, la tecnología de fibra óptica ofrece una mayor seguridad y protección de la información transmitida, lo que es fundamental en entornos donde la confidencialidad es crucial. En resumen, la migración a una tecnología de transmisión de fibra óptica es un paso importante y beneficioso para mejorar la infraestructura de comunicaciones y garantizar un servicio de alta calidad y confiable para todos los usuarios.

El presente trabajo monográfico consiste en realizar un upgrade de una conexión troncal de transmisión de datos mediante Radio Enlace a una red cableada de fibra óptica, bajo la supervisión del ingeniero y Dirigente de la empresa de Telecomunicaciones Electrycomp S.A. De modo que se pretende brindar mejoría en su red troncal.

II. Justificación

La empresa de Telecomunicaciones Electrycomp S.A. muestra un interés en la mejora continua de sus sistemas, inicialmente contando con un Radio enlace para sus interconexiones entre puntos de su red actual el cual actúa como el medio de transmisión para su red troncal, con la vista puesta en un futuro más próspero en el funcionamiento de sus sistemas, nos manifiesta su gran interés en mejorar su conexión entre puntos.

Tenido esto en cuenta los pobladores del Área Distrito 5 Metropolitana del Departamento de Managua, se verán en gran medida beneficiados al mejorar la oferta de los servicios de esta empresa, teniendo un gran impacto en la calidad del servicio que se ofrecerá dando mayor oportunidad de desarrollo a la sociedad, brindando mayores beneficios estabilidad de la conexión a internet y mayores capacidades de navegación en sus terminales.

Proponiendo ante Electrycomp S.A. un enlace de Fibra Óptica que contemple sus actuales y futuras necesidades, es por lo cual realizamos este trabajo y el personal encargado de Electrycomp S.A. no da paso a la realización de este de diseño de Backbone de fibra óptica el cual tiene como principal objetivo la migración del Radio Enlace hacia esta tecnología que en nuestro planteamiento se pretende incorporar a la infraestructura de Electrycomp S.A.

Por ello con el conocimiento que hemos adquirido en nuestra formación en la Universidad Nacional de ingeniería les presentamos este trabajo en el cual se detalla los elementos teóricos necesarios para la realización de este diseño de Backbone de Fibra Óptica para la sustitución de un Radio enlace ya existente.

III. Objetivos

3.1. General

Elaborar un diseño de backbone fibra óptica en Electrycomp S.A. evaluando el cambio del radio enlace actual, garantizando mayor capacidad, estabilidad y escalabilidad en la transmisión de datos.

3.2. Específicos

- Analizar las condiciones actuales de la red de Electrycomp S.A., identificando las limitaciones de los enlaces por radio y las necesidades de capacidad que justifican el diseño de backbone por fibra óptica.

- Realizar levantamiento del enlace troncal de planta externa para identificar la ruta optima, puntos de interconexión, infraestructura existente y requerimientos de ampliación.

- Diseñar el diagrama de fibra óptica de planta externa del enlace troncal que reemplazara el actual sistema de radio enlace.

- Documentar un reporte detallado de los precios de mercado que incluya las cotizaciones y valores de los componentes descritos en la lista de materiales necesarios para el trayecto de fibra óptica.

IV. Marco Teórico

4.1 Fundamentos de las Redes de Telecomunicaciones

4.1.1 Introducción a las Redes de Telecomunicaciones

En el contexto corporativo actual, las redes de telecomunicaciones constituyen el sistema nervioso de cualquier organización. Una red de telecomunicaciones se define como un conjunto de nodos y enlaces físicos o inalámbricos que permiten la transmisión de información (voz, datos, video) entre usuarios o sistemas situados a distancias diversas. Según Stallings (2018), la evolución de estas redes ha transitado desde la conmutación de circuitos analógicos hacia la conmutación de paquetes digitales, permitiendo la convergencia de servicios sobre una infraestructura unificada IP (Internet Protocol).

Para empresas como Electrycomp S.A., que dependen de la transmisión de datos en tiempo real y alta disponibilidad, la arquitectura de la red no es solo un soporte operativo, sino un activo estratégico. La eficiencia de esta red se mide por parámetros de calidad de servicio (QoS) como el ancho de banda, la latencia, el jitter y la tasa de pérdida de paquetes, todos dependientes intrínsecamente del medio de transmisión utilizado (Tanenbaum & Wetherall, 2021).

4.1.2 Importancia de la Capa Física y de Enlace

El diseño de cualquier solución de conectividad debe basarse en modelos de referencia estandarizados. El modelo OSI (Open Systems Interconnection) de la ISO proporciona el marco teórico para comprender dónde reside el problema y la solución en este proyecto.

Capa Física (Capa 1): Es la base del modelo. Se encarga de las especificaciones mecánicas, eléctricas y funcionales para transmitir bits a través de un canal de comunicación. Aquí se define el medio de transmisión: cable de cobre, aire (radiofrecuencia) o fibra óptica. Según Cisco Systems (2020), el 70% de los problemas de red en infraestructuras antiguas residen en esta capa debido al deterioro de cables

o interferencias en medios inalámbricos. La sustitución del radio enlace ataca directamente esta capa.

Capa de Enlace de Datos (Capa 2): Garantiza la transferencia fiable de información a través del enlace físico, manejando el direccionamiento físico (MAC), la topología de la red y la notificación de errores. Al migrar a fibra óptica, los protocolos de capa 2 (como Ethernet) pueden operar a velocidades de 10 Gbps o superiores sin la sobrecarga de corrección de errores que requieren los medios inalámbricos inestables (Kurose & Ross, 2021).

4.2 Sistemas de Radio Enlaces

Para justificar técnica y económicamente el diseño del enlace troncal de fibra óptica, es necesario analizar las limitaciones de la tecnología actuales en Electrycomp S.A. los radio enlaces de microondas.

4.2.1 Principios de transmisión por microondas

Los enlaces de microondas terrestres operan mediante la propagación de ondas electromagnéticas en la atmósfera, típicamente en rangos de frecuencia de 2 GHz a 40 GHz para enlaces punto a punto. Tomasi (2020) explica que este sistema requiere una "Línea de Vista" (LOS - Line of Sight) estricta entre la antena transmisora y la receptora. La información se modula sobre una portadora de alta frecuencia que viaja a través del espacio libre.

Históricamente, esta tecnología fue clave para conectar sedes donde el tendido de cable era costoso. Sin embargo, su capacidad de transporte (throughput) está limitada por el ancho de banda del canal asignado por el ente regulador y por el esquema de modulación (QAM), que se vuelve más susceptible al ruido cuanto mayor es la velocidad que se intenta alcanzar.

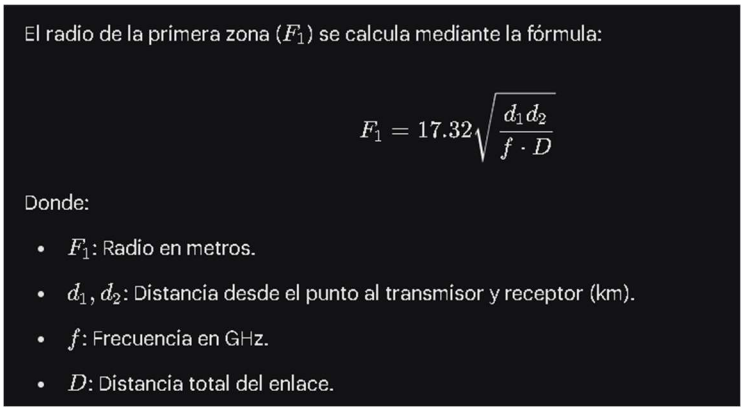
4.2.2 Limitaciones técnicas: Zona de Fresnel, desvanecimiento e interferencias

A diferencia de un medio confinado, el medio inalámbrico es abierto y dinámico, presentando tres problemas críticos para un enlace corporativo.

La Zona de Fresnel

La transmisión de radio no es un láser perfecto; la onda se expande en forma de elipsoide mientras viaja. Esta área se conoce como Zona de Fresnel. Para una comunicación estable, la primera zona de Fresnel debe estar libre de obstáculos al menos en un 60%.

Figura.1. Fórmula para el cálculo del radio de la primera zona de Fresnel.



En entornos urbanos o industriales en crecimiento, edificios nuevos o grúas pueden invadir esta zona repentinamente, degradando el enlace sin bloquear la visión directa (Frenzel, 2019).

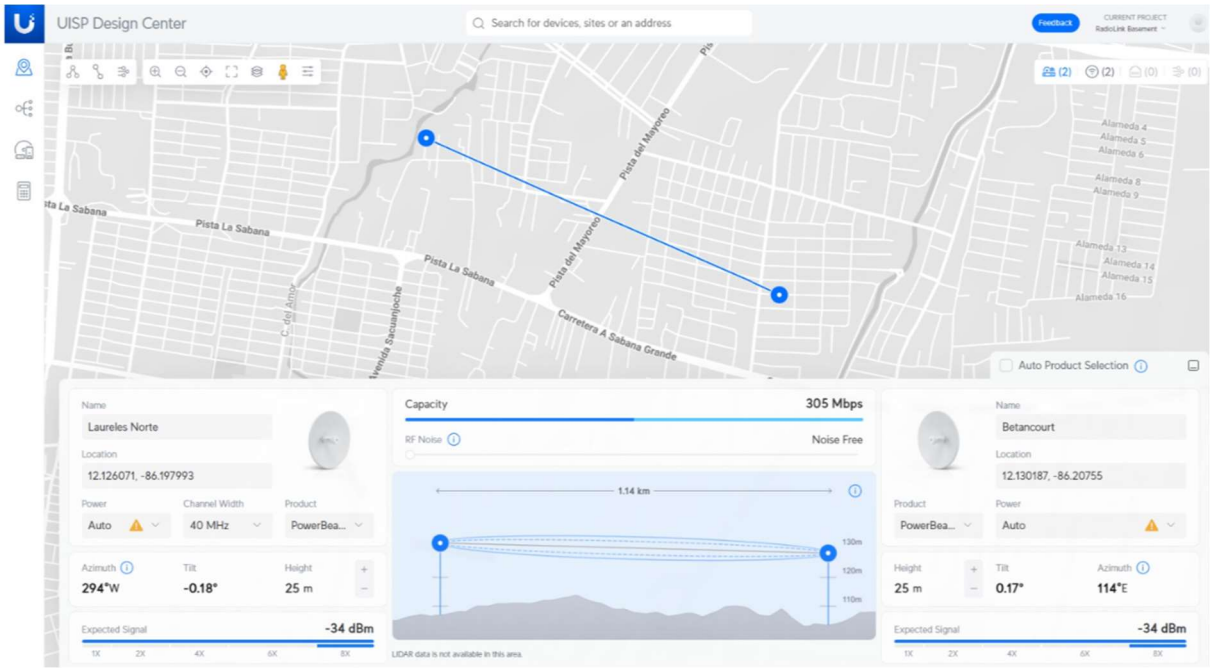
Desvanecimiento (Fading)

El fenómeno más perjudicial es el desvanecimiento por lluvia o absorción atmosférica. En frecuencias superiores a 10 GHz, la longitud de onda es similar al tamaño de las gotas de lluvia, lo que provoca que la señal sea absorbida o dispersada. Freeman (2013) señala que esto introduce una indisponibilidad del servicio incontrolable durante tormentas, inaceptable para procesos críticos de la empresa.

Interferencias (EMI/RFI)

Siendo un medio no guiado, los radio enlaces son susceptibles a interferencias electromagnéticas generadas por otros enlaces cercanos, maquinaria industrial de alta potencia o saturación del espectro radioeléctrico. Esto eleva el piso de ruido y reduce la relación Señal-a-Ruido (SNR), provocando retransmisiones y lentitud en la red.

Figura.2. Simulacion de parametros de entorno del radio enlace con herramienta del provedor.



4.2.3 Justificación del reemplazo en entornos corporativos

La sustitución del radio enlace por fibra óptica en Electrycomp S.A. se justifica en la necesidad de superar las limitaciones físicas y transmisión de datos. Mientras que el radio enlace sufre degradación por clima y tiene un ancho de banda limitado (típicamente < 1 Gbps en radios convencionales), la fibra óptica ofrece estas cualidades:

Inmunidad a interferencias: Al transmitir fotones y no electrones, no le afecta el ruido electromagnético industrial (Keiser, 2019).

Seguridad: Es extremadamente difícil interceptar datos en fibra sin ser detectado, a diferencia de las señales de radio que pueden ser capturadas.

Escalabilidad: Un enlace de fibra instalado hoy puede escalar de 1 Gbps a 100 Gbps solo cambiando los equipos en los extremos, sin necesidad de nueva obra civil, garantizando la inversión a largo plazo.

4.3 Fundamentos de la Fibra Óptica

La fibra óptica se ha consolidado como el medio de transmisión por excelencia para las redes de telecomunicaciones modernas, permitiendo anchos de banda teóricamente superiores a los 50 Terabits por segundo (Tbps). A diferencia de los medios metálicos que transportan señales eléctricas, la fibra óptica es una guía de onda dieléctrica que transporta información en forma de pulsos de luz (fotones). Según Agrawal (2021), esta naturaleza dieléctrica es la que otorga a la fibra su inmunidad total a la interferencia electromagnética (EMI) y a la diafonía (crosstalk), características decisivas que se toman en cuenta para el diseño en entornos industriales como Electrycomp S.A.

4.3.1 Principios Físicos: Refracción y Ley de Snell

El confinamiento y propagación de la luz dentro de la fibra se basa en la óptica geométrica, específicamente en el fenómeno de la Reflexión Interna Total (TIR).

Para comprender este fenómeno, primero debemos referirnos a la Ley de Snell, que describe cómo la luz cambia de dirección al pasar de un medio a otro con diferente densidad óptica (índice de refracción).

Figura.3. Representación de la Ley de Snell para la refracción de la luz.

$$n_1 \cdot \sin(\theta_1) = n_2 \cdot \sin(\theta_2)$$

Donde:

- n_1: Índice de refracción del núcleo (*core*).
- n_2: Índice de refracción del revestimiento (*cladding*).
- θ_1: Ángulo de incidencia.
- θ_2: Ángulo de refracción.

Para que la luz viaje largas distancias dentro de la fibra sin escapar, el índice de refracción del núcleo debe ser ligeramente mayor que el del revestimiento. Cuando el ángulo de incidencia supera un valor límite conocido como Ángulo Crítico, la luz no se refracta hacia afuera, sino que se refleja completamente hacia el interior del núcleo (Keiser, 2019).

4.3.2 Tipos de Fibra Óptica: Monomodo vs. Multimodo

La clasificación de la fibra depende de cómo se propaga la luz en su interior (modos). La elección de Fibra óptica se considera principalmente por la distancia que esta logra conectar entre los puntos, entre estos se selecciona Fibra Óptica Monomodo por sus características.

Fibra Multimodo (MM)

Posee un núcleo relativamente grande. Permite que múltiples haces de luz (modos) viajen simultáneamente rebotando en las paredes del núcleo. Estándar: ITU-T G.651.1.

Limitación: Sufre de Dispersión Modal. Los diferentes modos recorren distancias distintas y llegan en tiempos diferentes, deformando el pulso. Esto limita su uso a distancias cortas (LAN, < 550m para 10Gbps) (Hui & O'Sullivan, 2009).

Fibra Monomodo (SM - Single Mode)

Es la tecnología seleccionada para el proyecto de sustitución del radio enlace. Posee un núcleo extremadamente delgado (entre 8 y 10 µm), comparable a la longitud de onda de la luz.

Funcionamiento: Solo permite la propagación de un único modo de luz (el modo fundamental axial). Al no haber múltiples caminos, se elimina la dispersión modal.
Estándar: ITU-T G.652 (Estándar) y G.655 (Dispersión desplazada no nula).

Permite distancias de decenas de kilómetros sin repetidores y anchos de banda virtualmente ilimitados, dependiendo solo de la electrónica en los extremos (Senior & Jamro, 2021).

La Fibra Monomodo (SM) es la única opción que garantiza escalabilidad y cumplimiento de estándares de Backbone de campus o MAN (Metropolitan Area Network).

4.3.3 Ventanas de Transmisión y Atenuación

La luz no viaja gratis; pierde potencia en el camino. La atenuación (α) es la pérdida de potencia óptica por unidad de longitud, medida en dB/km. Según Miya (2018), la atenuación en la fibra de sílice no es uniforme, sino que depende de la longitud de onda (ʎ). Esto da a conocer las "ventanas de transmisión":

Primera Ventana (850 nm): Alta atenuación (aprox. 2.5 dB/km). Usada solo en fibras multimodo económicas.

Segunda Ventana (1310 nm): Atenuación media (0.35 dB/km). Es importante porque aquí la dispersión cromática es casi nula en fibra estándar G.652.

Tercera Ventana (1550 nm): Mínima atenuación histórica (0.20 - 0.22 dB/km). Es la ventana preferida para enlaces largos (Long Haul) y Backbones de fibra monomodo.

4.3.4 Dispersión en Fibra Óptica

Además de la atenuación (que debilita la señal), la fibra sufre de dispersión (que ensancha el pulso de señal). Si un pulso se ensancha demasiado, se solapa con el siguiente (Interferencia Intersimbólica - ISI), haciendo imposible la lectura de datos.
En la fibra monomodo elegida para este proyecto, el factor crítico es la Dispersión Cromática (CD). Según Keiser (2019)

Dispersión Modal (Modal Dispersion)

Este fenómeno es exclusivo de las fibras multimodo. Ocurre porque los diferentes modos (rayos de luz) siguen trayectorias de distintas longitudes dentro del núcleo.

Mecanismo: Un rayo que viaja por el centro (modo axial) llega más rápido que uno que viaja rebotando en los bordes (modos de orden alto), ya que este último recorre más distancia física.

Impacto: Es la razón por la cual la fibra multimodo no se utiliza para el enlace principal (backbone) de larga distancia en Electrycomp S.A., ya que limita la distancia a unos pocos cientos de metros.

Dispersión Cromática (Chromatic Dispersion - CD)

En la fibra monomodo, la dispersión modal no existe. Sin embargo, predomina la Dispersión Cromática. Según Keiser (2019), esta es determinista y lineal con la distancia. Se origina porque las fuentes de luz (láseres) no emiten una sola frecuencia pura, sino un rango espectral

Dispersión por Modo de Polarización (Polarization Mode Dispersion - PMD)

Para enlaces de alta velocidad (10 Gbps o 40 Gbps) como el propuesto, la PMD se vuelve un factor crítico.

Fundamento: La fibra óptica real no es un círculo perfecto; tiene imperfecciones geométricas o estrés mecánico.

Efecto: La luz se descompone en dos modos de polarización ortogonales (ejes x e y) que viajan a velocidades ligeramente diferentes. A diferencia de la cromática, la PMD es aleatoria y estocástica.

Tabla.1. Clasificación de los tipos de dispersión y estrategias de mitigación.

Tipo de Dispersión	Afecta a Fibra	Solución en el Diseño Propuesto
Modal	Multimodo (MM)	Eliminada: Al seleccionar fibra Monomodo (SM) G.652 para el backbone.
Cromática (CD)	Monomodo (SM)	Mitigada: Uso de láseres DFB de espectro estrecho y operación en distancias < 40km donde el efecto es tolerable sin compensadores.
Polarización (PMD)15	Monomodo (SM)16	Controlada: Selección de cables de fibra óptica de calidad certificada "Low PMD" bajo norma ITU-T G.652.D.17

4.4 Diseño de Redes Backbone

La arquitectura de la red para Electrycomp S.A. debe responder a criterios de alta disponibilidad, escalabilidad y seguridad. Un Backbone o red troncal no es simplemente un cable, es un sistema integrado de elementos activos y pasivos.

4.4.1 Definición y Topologías

Según el modelo jerárquico de Cisco Systems (2020), el Backbone constituye la capa de "Núcleo" (Core Layer), cuya única función es conmutar tráfico a la máxima velocidad posible de manera fiable. Para la sustitución del radio enlace, se recomiendan dos topologías físicas:

Punto a Punto (PTP): Conexión directa entre el edificio A y B. Es la implementación más económica y directa para sustituir el radio.

Anillo Redundante: Si la infraestructura civil lo permite, cerrar un anillo de fibra entre varias dependencias garantiza que, ante un corte de cable (corte de fibra), el tráfico

fluya por el camino alternativo en menos de 50 milisegundos usando protocolos como ERPS (Ethernet Ring Protection Switching) (Hui & O'Sullivan, 2009).

4.4.2 Elementos Pasivos y Activos

La implementación física requiere la integración de:

ODF (Optical Distribution Frame): Son los distribuidores donde aterriza el cable de fibra exterior. Deben cumplir con la norma de montaje en rack de 19 pulgadas y permitir la organización de las "reservas" de fibra.

Transceptores (Transceivers): Son la interfaz entre el switch y la fibra. Para este diseño se especifican módulos SFP+ (Small Form-factor Pluggable) de 10 Gigabit. Es vital seleccionar el tipo según la distancia: SR (Short Reach) para multimodo,

LR (Long Reach, 10km) y ER (Extended Reach, 40km) para monomodo (Hayes & Rosenberg, 2021).

Switches de Núcleo: Equipos de Capa 3 capaces de realizar enrutamiento inter-VLAN a velocidad de cable (wire-speed).

4.5 Técnicas de Medición y Caracterización

Una vez instalado el enlace, este debe certificarse. No basta con que "encienda el link"; se debe demostrar que cumple con los parámetros de diseño.

4.5.1 Caracterización de la Fibra (Reflectometría)

La herramienta fundamental para esto es el OTDR (Optical Time Domain Reflectometer). Según Anderson (2018), el OTDR inyecta pulsos de luz y mide la retrodispersión (backscattering) para crear una "huella digital" del enlace. Permite identificar:

Pérdida por empalme (debe ser < 0.1 dB según estándares estrictos).

Pérdida por conector.

Macrocurvaturas (dobleces excesivos en el cable).
Longitud total exacta del enlace.

4.5.2 Medición de Pérdida de Inserción (OLTS)
Para la certificación final bajo normas TIA, se utiliza un OLTS (Optical Loss Test Set), que consiste en una fuente de luz estabilizada en un extremo y un medidor de potencia en el otro. Esta medición entrega la atenuación total real del enlace para compararla con el presupuesto teórico.

4.6 Normativas y Estándares Internacionales
El diseño propuesto para Electrycomp S.A. se rige estrictamente por los estándares internacionales que garantizan la calidad y la interoperabilidad.

4.6.1 Estándares ANSI/TIA
La Telecommunications Industry Association (TIA) define los estándares de cableado estructurado comercial:
ANSI/TIA-568.3-D: Es el estándar vigente para componentes de fibra óptica. Define los requisitos de rendimiento para cables, conectores y hardware de conexión. Establece los límites de pérdida aceptables para la certificación.

ANSI/TIA-598-C: Define el código de colores para la identificación de las fibras. Esto es vital para la operación y mantenimiento. Por ejemplo, en un cable de 12 hilos, la fibra 1 es Azul, la 2 Naranja, la 3 Verde, etc.

ANSI/TIA-606-B: Norma de administración y etiquetado. Cada cable, puerto y ODF debe tener un identificador único registrado en la documentación del proyecto (Chomycz, 2009).

4.6.2 Recomendaciones ITU-T (Serie G)

La Unión Internacional de Telecomunicaciones define las características geométricas y físicas de la fibra:

ITU-T G.652.D: Estándar para fibra monomodo de pico de agua reducido (Low Water Peak). Es la fibra elegida para este proyecto por su versatilidad en las ventanas de 1310 nm y 1550 nm.

V. Metodología del Proyecto

El proyecto contara de 4 fases principales que hemos dividido en:

5.1. Definición de Alcances y Recopilación de Datos

5.1.1. Ubicación del estudio

La ubicación del estudio del proyecto estará dirigida a la población del distrito V de Managua, el diseño tendrá una ubicación de dos puntos, del Barrio Betancourt, Managua, Nicaragua hacia Barrio Laureles Norte, Managua, Nicaragua.

5.1.2. Área de estudio

Telecomunicaciones e Infraestructura.

5.1.3. Tipo de investigación

Investigación aplicada cuantitativa, como característica principal de la presente investigación, propone la resolución de un problema determinado con el fin de optimizar un proceso clave en el funcionamiento de una empresa de telecomunicaciones, valores que se toman en cuenta son medibles y utilizables.

5.1.4. Población y muestra de investigación

Para este caso particular, se propone trabajar en un proyecto único, con lo cual la muestra será una conexión a dos puntos especificada por Electrycomp S.A.

Este tendrá efecto sobre calidad de servicio para la población que Electrycomp S.A. determine, en el Distrito V de la Ciudad de Managua.

5.2. Definición de Técnica a utilizar y definición de equipo

5.2.1. Estrategia de investigación cuantitativa.

Simulación, a través de software especializado en visualización de mapas y modelado de planos se realizarán evaluaciones de rutas específicas para el trayecto de la fibra óptica.

Se mostrarán parámetros de calidad de servicio, características propias del medio de transmisión a utilizar para asegurar el cumplimiento de los requerimientos específicos de transmisión de datos que se requerirán.

5.2.2. Medios y Equipos a utilizar.

Se utilizarán equipos especializados en el área de las telecomunicaciones como GPS y Odómetros manuales para medir las distancias recorridas teniendo como fuente de datos estos equipos en colaboración de herramientas de Software como visualizadores de Mapas.

5.3. Ejecución de Técnicas para obtención de resultados y Equipos de protección personal.

5.3.1. Proceso de elaboración

Se utilizarán herramientas de software dedicado para el diseño de la ruta especifica y mediciones de esta por Geolocalizadores web, se seguirán lineamientos específicos de la legislación vigente..

Uso de equipamiento especializado como GPS móviles y Odómetros manuales para abarcamiento de rutas de fibra óptica principal y respaldo en sitios determinados por ElectryComp S.A. como parte de la asignación de elementos de red física y recuento de elementos necesarios para la elaboración del diseño en sustitución de tecnología actual radio enlace.

5.3.2. Equipos de Protección Personal.

Durante el levantamiento físico de las rutas determinadas es necesario el uso de Equipo de Protección personal (EPP) con el fin del resguardo de la propia vida y la señalización apropiada para el tipo de trabajo realizado, se detalla lista de EPP básicos utilizados.

Casco de Seguridad: Elemento fundamental que proteja ante caída de objetos a diferente nivel

Chaleco Reflectivo: Elemento visual de corta a media distancia que mejora la visibilidad de personas que circulan en las calles de la ciudad.

5.4. Realizar documentación final de propuesta.

5.4.1. Realización de Informe y oferta económica.

Se realizarán informes con los resultados obtenidos y se generarán archivos con la ruta punto a punto especificada.

VI. Desarrollo del proyecto

6.1. Caracterización del Radio enlace y Necesidades Existente

El enlace analizado conecta los puntos barrio Laureles Norte y Barrio Betancourt sobre una distancia de 1.14 km utilizando equipos de la línea PowerBeam. Se encuentran instalados ambos radios en estaciones base correspondientes, torres monopolo de 30 Metros de altura.

6.1.1 Identificación de Necesidades de Capacidad y Escalabilidad

Demanda de Ancho de Banda: Las aplicaciones modernas de gestión empresarial (ERP, CRM) y el uso de servicios en la nube requieren una tasa de transferencia simétrica y constante que los radio enlaces difícilmente mantienen bajo condiciones de ruido elevado.

Servicios Críticos: Los servicios ya implementados de telefonía IP (VoIP) y sistemas de videoconferencia demanda una latencia mínima y un jitter casi inexistente para evitar la degradación de la comunicación, parámetros que la fibra óptica garantiza sobre cualquier medio inalámbrico.

6.1.2 Seguridad y Resiliencia de la Infraestructura

Inmunidad a Interferencias: Dado que la red opera en un entorno urbano con alta densidad de señales, se requiere un medio de transmisión que no se vea afectado por el ruido electromagnético externo.

Disponibilidad del Servicio: La empresa necesita asegurar una disponibilidad del 99.9%, eliminando las caídas de conexión producidas por factores climáticos que afectan la propagación de las ondas de radio en la banda de 5 GHz

Latencia y Jitter: Variaciones en el tiempo de respuesta que afectan las aplicaciones críticas o de tiempo real.

Vulnerabilidad Climática: Degradación del servicio ante eventos de lluvia, neblina o vientos fuertes (atenuación por hidrometeoros).

6.1.3 Proyección de Escalabilidad a Largo Plazo

Saturación del Enlace Actual: El enlace de radio analizado presenta un límite físico cercano a los 300 Mbps. Cualquier expansión en el número de estaciones de trabajo o la incorporación de cámaras de seguridad de alta resolución (4K/8K) saturaría este canal de forma inmediata.

Infraestructura Futura: El diseño de fibra óptica busca dotar a Electrycomp S.A. de una plataforma capaz de soportar tecnologías de 1 Gbps o superiores sin necesidad de realizar nuevas obras civiles o cambios estructurales. (Véase Tabla 2)

Tabla.2. Comparativa de rendimiento técnico entre radio enlace y fibra óptica

Parámetro	Radio enlace Actual	Requerimiento de Fibra Óptica
Capacidad Máxima	~305 Mbps	1 Gbps / 10 Gbps (Escalable)
Durabilidad física	Sensible a condiciones climáticas y corrosión	Muy alta, resistente y con vida útil de muchos años
Estabilidad Climática	Susceptible a lluvia/viento	Alta estabilidad operativa

Parámetro	Radio enlace Actual	Requerimiento de Fibra Óptica
Latencia	Variable según congestión del espectro	Mínima y constante

6.1.4 La Superioridad del Backbone de Fibra para Electrycomp

Al diseñar este backbone, estamos eliminando las variables estocásticas (clima, interferencias) por variables deterministas.

Perdida de potencia por distancia: A diferencia del radio, donde la pérdida de trayectoria depende del clima, en este diseño de fibra la pérdida es constante (típicamente 0.35 dB/km para monomodo en 1310 nm). Esto garantiza una estabilidad del 99.999%.

Mejoría de la Fibra: Es un medio Full-Duplex. Se tiene 1 Gbps simétrico real y constante. La capacidad no se negocia según el ruido ambiental; es absoluta.
La infraestructura actual de radio enlace somete a los usuarios de Electrycomp S.A. a una variabilidad operativa ligada al clima, donde la lluvia no solo degrada el ancho de banda, sino que compromete la continuidad del negocio. El diseño de fibra óptica elimina el 'Rain Fade', garantizando una disponibilidad del 99.9% independientemente de las condiciones atmosféricas.

El fenómeno del "Rain Fade": Cuando llueve, las gotas de agua actúan como diminutos obstáculos que absorben y dispersan la energía de las microondas. A frecuencias altas, el tamaño de la gota de lluvia es comparable a la longitud de onda de la señal, causando una pérdida de potencia llamada atenuación específica.

Impacto al cliente: La conexión no se corta necesariamente de inmediato, pero se vuelve lenta. El sistema, al detectar ruido, baja su velocidad para intentar mantener el enlace vivo, lo que el cliente percibe como lentitud en el sistema.

Incremento de la Latencia y el Packet Loss: La lluvia no solo debilita la señal, sino que introduce errores en los datos que viajan por el aire.

La humedad y las tormentas eléctricas aumentan el ruido de fondo. Esto provoca que muchos paquetes de datos lleguen corruptos al receptor y deban ser retransmitidos (ARQ - Automatic Repeat Request).

Las aplicaciones en tiempo real (como llamadas por WhatsApp, Zoom o el acceso al sistema de inventarios de Electrycomp) se "congelan" o presentan cortes de voz. Esto genera una frustración inmediata porque la interactividad se pierde.

6.2. Levantamiento del enlace troncal de planta externa para identificar la ruta optima.

Se realizó un levantamiento físico de campo siguiendo la trayectoria proyectada entre el Punto A y el Punto B.

Punto A: Managua, Barrio Betancourt

Punto B: Managua, Barrio Laureles Norte

Figura.4. Estación Base, Barrio Betancourt.



Figura.5. Estación Base, Barrio Laureles Norte.



El levantamiento se ejecutó mediante una inspección directa (recorrido a pie y vehicular), validando cada metro del tendido para identificar las condiciones reales de la infraestructura. Para la captura de datos de localización, se utilizó un receptor GPS Garmin Serie GPSMAP 62, asegurando una precisión submétrica en la identificación de coordenadas críticas.

6.2.1 Actividades Realizadas

Georreferenciación de Postería: Se marcaron los puntos GPS de cada poste existente en la ruta, evaluando su material (concreto/madera), altura y estado estructural para determinar si son aptos para soportar la carga del cable ADSS y los herrajes de tensión.

Medición de Vanos: Se midieron las distancias físicas entre postes (vanos) para calcular la tensión mecánica necesaria y evitar el "flechado" excesivo del cable que pudiera interferir con el tráfico vehicular o peatonal.

Identificación de Obstáculos: Se documentaron puntos críticos como cruces de avenidas, líneas de alta tensión y zonas de vegetación densa que requerirán técnicas de instalación especiales o podas preventivas.

Verificación de Canalización: En los puntos de entrada a los edificios, se inspeccionó la infraestructura de ductería para confirmar la disponibilidad de espacio y la necesidad de limpiezas o bypass.

Figura.6. Ruta extraída de Google Maps, trayecto principal.

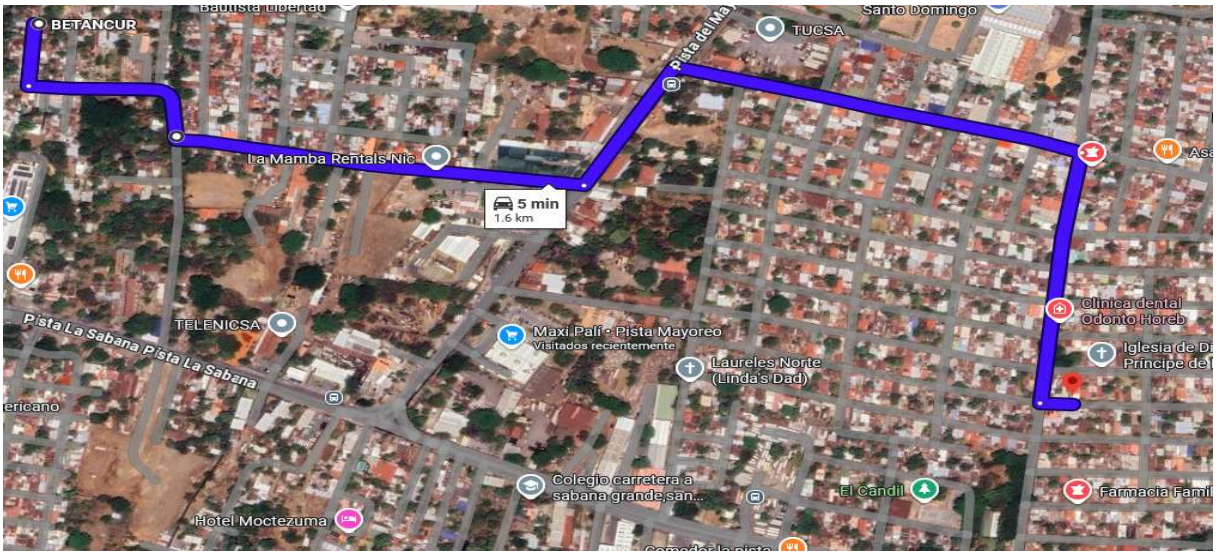
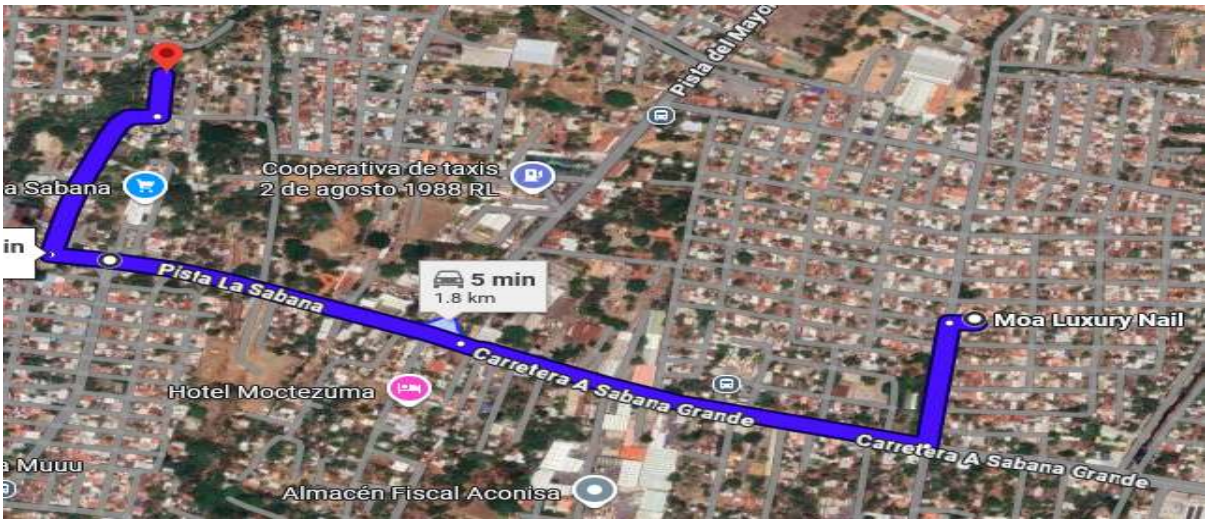


Figura.7. Ruta extraída de Google Maps, trayecto de respaldo.



6.3. Algunas herramientas utilizadas

Odómetro Manual marca Trupper: Se utiliza equipo para determinar distancia entre Postería existente y tener registro de la distancia. Con el recorrido a pie de se sostiene con una mano firmemente y se realiza el desplazamiento con suavidad para evitar falsas lecturas, el equipo tiene un contador de metraje manual el cual cambia con el avance de la rueda.

Figura.8. Odómetro utilizado en el levantamiento.



Gps Garmin Gs62x: Equipo especializado para visualización de mapas y ubicación por GPS (Global Position System), equipo se configura de la siguiente manera.

Figura.9. Dispositivo GPS Garmin Serie GPSMAP 62 utilizado para el levantamiento de ruta



Estando al inicio de la ruta, seguimos la siguiente lista de pasos ilustradas en el manual de usuario.

6.3.1 Detección de señales del satélite:

El proceso de detección de las señales del satélite puede durar entre 30 y 60 segundos.

1. Dirígete a un lugar al aire libre.
2. Si es necesario, enciende el dispositivo.
3. Espera mientras el dispositivo busca los satélites. Mientras el dispositivo determina tu ubicación, un signo de interrogación parpadea.
4. Pulsa rápidamente el botón de apagado para abrir la página de estado de la retroiluminación. Las barras del GPS indican la intensidad de la señal del satélite. Cuando las barras aparecen de color verde, significa que el dispositivo ha adquirido la señal del satélite.

Se realizo la creación de puntos para contabilizar la cantidad de postes en la ruta, este dato nos ayuda a contabilizar la cantidad de material y factores a tener en cuenta en el diseño del diagrama de fibra, en la nomenclatura del dispositivo para el marcaje de estos puntos de interés se denomina “Waypoints” a los puntos marcados dentro de la ruta generada por el equipo, para la creación de estos se deben realizar los siguientes pasos descritos en el manual de usuario.:

1. Desde cualquier página, pulsa MARK.
2. Selecciona Hecho.

Los siguientes pasos son utilizados como referencia para realizar diversas gestiones en el equipo, según el manual de usuario:

Navegación a un waypoint mediante el menú de búsqueda: Puedes usar el menú de búsqueda para buscar rápidamente waypoints, tracks, rutas y coordenadas que hayas guardado.

1. Desde cualquier página, pulsa FIND.
2. Selecciona Waypoints.
3. Selecciona un waypoint.
4. Selecciona Ir.

Edición de un waypoint.

Antes de poder editar un waypoint, debes crear uno.

1. En el menú principal, selecciona Waypoint Manager.
2. Selecciona un waypoint.
3. Selecciona un atributo (como el nombre o la ubicación).
4. Introduce la nueva información.
5. Selecciona Hecho.

Eliminación de un waypoint

1. En el menú principal, selecciona Waypoint Manager.
2. Selecciona un waypoint.

3. Pulsa MENU.
4. Selecciona Borrar.

Para exportar los datos obtenidos en el transcurso del levantamiento es se realiza la creación de la ruta, por ello fue muy importante el iniciar todo el procedimiento desde el punto de partida de nuestro trayecto, por ello tenemos los siguientes pasos brindados directamente del manual de usuario del equipo.

Creación de una ruta
1. En el menú principal, selecciona Plan de ruta > Crear ruta > Seleccionar primer punto.
2. Selecciona una categoría.
3. Selecciona el primer punto de la ruta.
4. Selecciona utilizar.
5. Selecciona Seleccionar siguiente punto.
6. Repite los pasos 2–5 hasta que la ruta esté completa. Una ruta debe contener al menos dos puntos.
7. Pulsa QUIT para guardar la ruta.

Para utilizar el método que hemos implementado en la realización del trayecto es:
1. En el menú principal, seleccionar Track Manager.
2. En la lista desplegable se debe seleccionar la tecla Menú.
3. Seleccionar, Guardar Track actual, acto seguido se abrirá el editor donde podremos cambiar el nombre y guardarlo.

Bitácora de anotaciones: este lo hemos utilizado para documentar los puntos de manera manual, con ello anotamos el número de poste en nuestro diseño y el código que tiene el poste físico, ya el tendido de la fibra óptica está previsto en postes de concreto o madera de la empresa Nacional Comercializadora de Energía Eléctrica.

Cámara fotográfica: con propósitos de documentación de las condiciones encontradas en los puntos de interés, se decidió captúralos mediante el uso de una cámara fotográfica, el cual puede ser el dispositivo en si o uno que la integre como un teléfono movil con capacidades de cámara fotográfica.

6.3.2 EPP (Equipos de Protección Personal).

Botas Dieléctricas: Se opto por el uso de estas botas por las condiciones de la ruta, esta presenta cunetas y calles con asfalto, con lo cual sería extenuante el uso de un calzado casual, se han escogido botas dieléctricas Marca Vanvien, que tienen punta PVC para protección de los dedos de los pies.

Figura.10 Botas Dieléctrica.



Chaleco reflectivo: Con el propósito de hacernos visibles a los vehículos en circulación se optó por el uso de chaleco reflectivo.

Figura.11. Chaleco Reflectivo.



Casco de seguridad ante caída de objetos a diferente nivel: Por el cambio de condiciones y entornos mediante se avanza en la ruta que se preselecciono, se opta por esta medida de seguridad.

Figura.12. Casco de seguridad.



6.3.2 Inventario y Codificación de Postería

No se limitó a la ubicación, sino que se realizó un censo exhaustivo de la infraestructura existente.

Identificación: Se registró el nombre o código único de cada poste (placas de identificación de la empresa eléctrica o municipal), lo que permitirá al equipo de instalación localizar cada punto sin ambigüedades.

Registro Fotográfico: Se tomó una fotografía de cada poste y de sus respectivos cabezales para analizar la saturación de cables actuales y el estado de las crucetas. Esto es vital para identificar dónde se requiere instalar herrajes de paso o herrajes de anclaje.

Se tomaron notas de campo sobre cada punto del trayecto, destacando: Obstáculos aéreos: Transformadores, luminarias o cables de alta tensión que requieran el uso de fibra ADSS con chaqueta dieléctrica.

Se realizan dos recorridos de fibra optica, un Principal y un trayecto de Respaldo.

Trayecto principal de 1.502 km de recorrido de fibra óptica, con una constante de perdida típicamente 0.35 dB/km en monomodo, obteniendo 0.5257 dB de perdida teórica.

Trayecto respaldo de 2.072 km de recorrido de fibra óptica, con una constante de perdida típicamente 0.35 dB/km en monomodo, obteniendo 0.7252 dB de perdida teórica.

Tabla.3. de la posición GPS en el levantamiento de los enlaces principal, Coordenadas Decimales

ID Poste	Latitud	Longitud
1	12.126087	-86.197959
2	12.126071	-86.197993
3	12.126114	-86.198321
4	12.126182	-86.198512
5	12.126424	-86.198435

6	12.126817	-86.198408
7	12.127181	-86.198351
8	12.127574	-86.198319
9	12.127924	-86.19828
10	12.128329	-86.198219
11	12.128687	-86.198152
12	12.128948	-86.198317
13	12.128984	-86.198645
14	12.129082	-86.198998
15	12.129195	-86.199358
16	12.129233	-86.199541
17	12.12927	-86.199737
18	12.129367	-86.200127
19	12.129463	-86.20048
20	12.129577	-86.200836
21	12.129666	-86.201159
22	12.12971	-86.201336
23	12.129742	-86.201651
24	12.129695	-86.201798
25	12.129601	-86.201844
26	12.129268	-86.202065
27	12.129199	-86.20227
28	12.128989	-86.202402
29	12.128601	-86.202907
30	12.128549	-86.202953
31	12.128602	-86.203425
32	12.128658	-86.20394
33	12.128733	-86.204457
34	12.128786	-86.20498
35	12.128858	-86.205346
36	12.128924	-86.205698
37	12.129012	-86.206044
38	12.129268	-86.206279

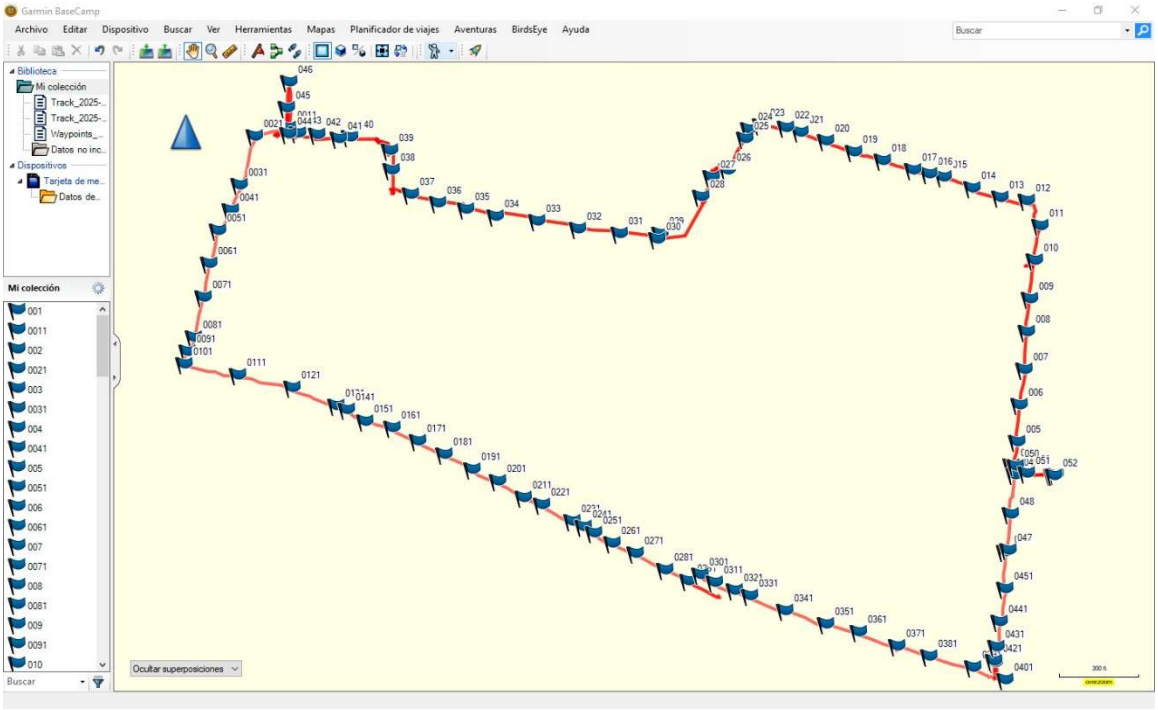
39	12.129479	-86.2063
40	12.129613	-86.206798
41	12.1296	-86.206939
42	12.129639	-86.207211
43	12.129652	-86.207452
44	12.12965	-86.207578
45	12.129916	-86.207597
46	12.130193	-86.207563

Tabla.4. de la posición GPS en el levantamiento de los enlaces de respaldo, Coordenadas Decimales.

ID Poste	Latitud	Longitud
1	12.129713	-86.207569
2	12.129624	-86.20799
3	12.129113	-86.208184
4	12.128848	-86.208299
5	12.128641	-86.208451
6	12.128291	-86.208562
7	12.127942	-86.208637
8	12.127518	-86.208752
9	12.127372	-86.208832
10	12.127242	-86.208882
11	12.127127	-86.20821
12	12.126991	-86.207527
13	12.126804	-86.20697
14	12.126767	-86.206843
15	12.126645	-86.206615
16	12.126572	-86.206272
17	12.126435	-86.205954
18	12.126299	-86.205621
19	12.12614	-86.205269
20	12.126016	-86.204944
21	12.125848	-86.204621

22	12.125768	-86.204399
23	12.125597	-86.204018
24	12.125542	-86.203873
25	12.125475	-86.203743
26	12.125366	-86.203517
27	12.125262	-86.203224
28	12.125088	-86.202851
29	12.124978	-86.202564
30	12.125037	-86.202414
31	12.124956	-86.202232
32	12.124874	-86.201978
33	12.124817	-86.201791
34	12.124664	-86.201346
35	12.124523	-86.200839
36	12.124441	-86.200427
37	12.124293	-86.199939
38	12.124184	-86.199537
39	12.124069	-86.198993
40	12.123938	-86.198585
41	12.124116	-86.198721
42	12.124137	-86.198733
43	12.124282	-86.198699
44	12.124545	-86.198656
45	12.124893	-86.198586
46	12.125277	-86.198586
47	12.125292	-86.198547
48	12.125673	-86.198515
49	12.12608	-86.198473
50	12.126173	-86.198458
51	12.126096	-86.198321
52	12.126078	-86.197982

Figura.13. Puntos exportados de Garmin, rutas Principal y Respaldo en Software Garmin BaseCamp.



6.4. Diseño de Ruta y Validación de Campo (Punto A - Punto B)

El diseño del backbone de fibra óptica para Electrycomp S.A. no solo se basó en proyecciones teóricas, sino en un riguroso proceso de ingeniería de campo y modelado digital. Toda la información recolectada en campo (coordenadas, distancias y notas de infraestructura) fue procesada y volcada en un plano digital utilizando AutoCAD.

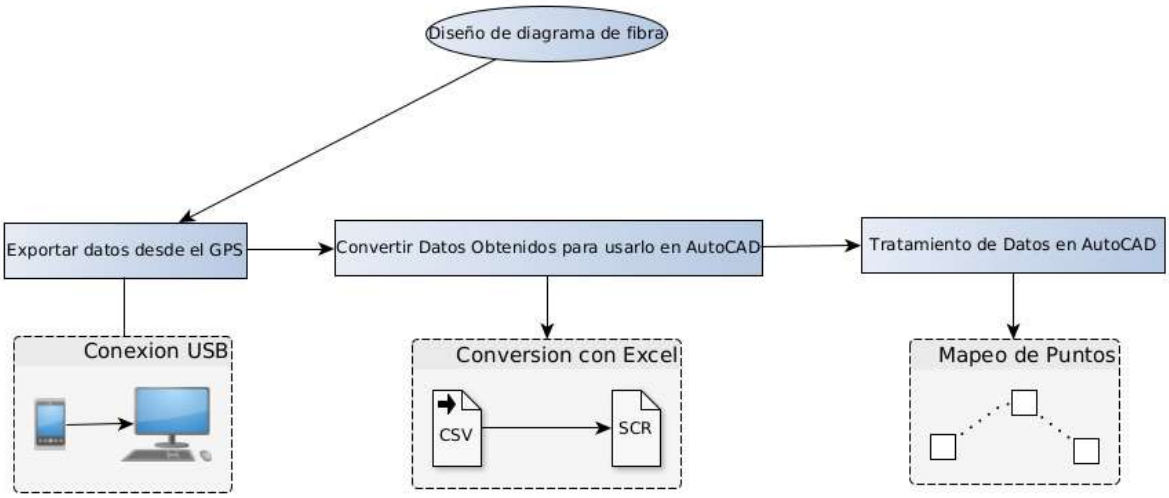
Figura.14. Modelado en AutoCAD de la ruta principal.



Figura.15. Modelado en AutoCAD de la ruta de respaldo.



Figura.16. Diagrama de extracción de datos.



6.5. **Reporte de precios y lista de materiales.**

Como parte del proceso de elaboración del reporte de los precios de mercado para la sustitución del radio enlace en Electrycomp S.A., se llevó a cabo una gestión de prospección de materiales con proveedores especializados en telecomunicaciones.

Se recopila información de los elementos físicos que se necesitan utilizar para la construcción de este backbone de fibra, por lo tanto, se debió consultar a empresas de la índole que tienen este tipo de equipos de planta externa, para la posible construcción de este enlace de fibra.

Se trabajo la empresa DISMATEL para disponer de los elementos requeridos.

Tabla.5. Presupuesto para enlace principal

#	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
1	FIBRA OPTICA ADSS DE 48 HILOS SPAN 100MTS G652D	MTS	1502	NIO 42,23	NIO 63.429,46
2	PREFORMADA PTO. VERDE P/ADSS RANGO 11.7-12.8MM	PZA	90	NIO 192,61	NIO 17.334,90
3	CRUCETA 80X80CM PARA RESERVA DE FIBRA OPT	PZA	5	NIO 772,50	NIO 3.862,50
4	ABRAZADERA 8-10 2 PARTES C/2 PERNO MAQU 5/8 X 4 1/2	PZA	90	NIO 309,00	NIO 27.810,00
5	ODF 48X19¨ X290MM DEPTH C/PIGS Y ADAPTS SC/UPC	PZA	2	NIO 8.816,80	NIO 17.633,60
6	Clevis carrete tipo D Chico	PZA	45	NIO 56,00	NIO 2.520,00
7	Cinta Band-it de 3/4"	PZA	45	NIO 35,13	NIO 1.580,85
8	Hebillas Band-it de 3/4"	PZA	45	NIO 4,01	NIO 180,45
TOTAL					NIO 134.351,76

Tabla.6. Presupuesto para enlace secundario.

#	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
1	FIBRA OPTICA ADSS DE 48 HILOS SPAN 100MTS G652D	MTS	2072	NIO 42,23	NIO 87.500,56
2	PREFORMADA PTO. VERDE P/ADSS RANGO 11.7-12.8MM	PZA	98	NIO 192,61	NIO 18.875,78
3	CRUCETA 80X80CM PARA RESERVA DE FIBRA OPT	PZA	6	NIO 772,50	NIO 4.635,00
4	ABRAZADERA 8-10 2 PARTES C/2 PERNO MAQU 5/8 X 4 1/2	PZA	98	NIO 309,00	NIO 30.282,00
5	ODF 48X19¨ X290MM DEPTH C/PIGS Y ADAPTS SC/UPC	PZA	2	NIO 8.816,80	NIO 17.633,60
6	Clevis carrete tipo D Chico	PZA	49	NIO 56,00	NIO 2.744,00
7	Cinta Band-it de 3/4"	PZA	49	NIO 35,13	NIO 1.721,37
8	Hebillas Band-it de 3/4"	PZA	49	NIO 4,01	NIO 196,49
TOTAL					NIO 163.588,80

Figura.17. Representación de presupuesto dado por DISMATEL



DISMATEL
ENLAZAMOS UN MUNDO MODERNO
RUC J0310000108820

KM 13.4 carretera a Masaya, Contiguo a Sevasa
+505 2279 1779, + 505 2279 1781
www.dismatel.net

200000851
21/01/2026

Señores:
CARLOS JOSE QUIROZ MARTINEZ
Atención:

Por este medio le presento para su consideración nuestra oferta económica según su requerimiento :

CODIGO	DESCRIPCION		ENTREGA	CANTIDAD		PRECIO	TOTAL
2036481	FIBRA OPTICA ADSS DE 48 HILOS SPAN 100MTS G652D	METRO	INMEDIATA	5000	C$	42.23	C$211,150.00
2021178	PREFORMADA PTO. VERDE P/ADSS RANGO 11.7-12.8MM	UNIDADES	INMEDIATA	1	C$	192.61	C$192.61
2015001	CRUCETA 80X80CM PARA RESERVA DE FIBRA OPT	UNIDADES	INMEDIATA	1	C$	772.50	C$772.50
KIT02	ABRAZADERA 8-10 2 PARTES C/2 PERNO MAQU 5/8 X 4 1/2		INMEDIATA	1	C$	309.00	C$309.00
2171059	ODF 48X19" X290MM DEPTH C/PIGS Y ADAPTS SC/UPC	UNIDADES	INMEDIATA	1	C$	8,816.80	C$8,816.80

Son: doscientos cincuenta y cuatro mil cuatrocientos veintisiete y 05 / 100 CORDOBAS

SUMAS	**C$**	**221,240.91**
IVA / PERCE.	C$	33.186,14
TOTAL	C$	254,427.05

6.6 Oferta económica recibida

Bajo el número de cotización 200000851 con fecha del 21 de enero de 2026, el proveedor entregó una propuesta detallada que incluye los elementos críticos para el Backbone:

Fibra Óptica: Se seleccionó cable ADSS de 48 hilos (G652D) con un soporte de vano (span) de 100 metros, asegurando una infraestructura con alta capacidad de crecimiento futuro.

Accesorios de Sujeción y Reserva: La oferta contempla herrajes específicos como preformadas, abrazaderas y crucetas de 80x80cm, estas últimas vitales para dejar excedentes de fibra (reservas técnicas) que faciliten reparaciones ante cortes accidentales.

Figura.18. Cruceta 80x80CM, proporcionada por DISMATEL.



Terminación de Red: Se incluyó un ODF (Distribuidor de Fibra Óptica) de 48 puertos con adaptadores SC/UPC para garantizar una conexión limpia y organizada en los racks de los nodos.

Figura.19. ODF DE 48H, proporcionada por DISMATEL.



Fibra Óptica ADSS 48 Hilos (G.652.D, Span 100m)

Es el componente principal del Backbone.

ADSS (All-Dielectric Self-Supporting): Significa que es una fibra totalmente dieléctrica y autosoportada. No contiene elementos metálicos, lo que la hace inmune a descargas

eléctricas e ideal para ser instalada en los mismos postes que las líneas de media o baja tensión de Electrycomp S.A. sin riesgo de inducción.

G.652.D: Es el estándar internacional para fibras monomodo de "pico de agua bajo". Permite la transmisión de datos a largas distancias con una atenuación mínima, soportando tecnologías de alta velocidad como GPON o Ethernet de 10 Gbps.

48 Hilos: Ofrece una altísima escalabilidad. Actualmente, el radio enlace solo equivale a una fracción de lo que 2 hilos podrían transportar; tener 48 hilos permite dedicar fibras exclusivas para datos, cámaras de seguridad, telefonía y expansión futura.

Span 100m: Indica que el cable puede soportar una distancia de hasta 100 metros entre poste y poste sin romperse por su propio peso o la tensión del viento.

Preformada Punto Verde para ADSS (Rango 11.7-12.8mm): Es un herraje de sujeción mecánica.
Función: Su diseño en forma de espiral permite sujetar el cable de fibra óptica al poste sin estrangularlo, distribuyendo la presión de forma uniforme para evitar micro-curvaturas que degradarían la señal óptica.

Identificación: El "Punto Verde" y el rango de milímetros aseguran que el herraje es del tamaño exacto para el diámetro exterior del cable de 48 hilos cotizado.

Figura.20. Preformada Punto Verde, proporcionada por DISMATEL.



Cruceta 80x80cm para Reserva de Fibra

Este es un elemento de mantenimiento crítico.

Reserva Técnica: En el tendido de fibra, no se debe dejar el cable totalmente tenso. Se instalan estas crucetas generalmente en forma de "raqueta" para almacenar metros excedentes de cable.

Utilidad: Si en el futuro ocurre un corte accidental (por un choque de vehículo o caída de un árbol), se utiliza esta reserva para realizar la fusión de reparación sin tener que reemplazar kilómetros de cable.

Abrazadera 8-10 (2 partes con pernos 5/8 x 4 1/2)

Es el herraje de fijación estructural.

Instalación: Se coloca alrededor del poste de concreto o madera. Sirve como el punto de anclaje donde se enganchan las preformadas y otros herrajes de tensión.

Resistencia: Al ser de acero galvanizado y contar con pernos de alta resistencia, garantiza que el tendido soporte el estrés mecánico del clima durante décadas.

Figura.21. Abrazadera 2 partes , proporcionada por DISMATEL.



ODF 48x19" (Distribuidor de Fibra Óptica con Pigtails y Adaptadores SC/UPC)
Es la conexión de ultima milla de las terminaciones en los nodos Laureles y Betancourt.
Organización: Es una caja metálica diseñada para montarse en un Rack de 19 pulgadas. Aquí es donde los 48 hilos externos terminan y se conectan a los equipos activos (switches).

Pigtails y Adaptadores SC/UPC: Son los conectores de alta precisión. El pulido UPC (Ultra Physical Contact) minimiza la pérdida de retorno, asegurando que el láser viaje con la mayor eficiencia posible.

Figura.22. Herraje para poste de concreto



.

Figura.23. Cable de fibra óptica.



VII. Conclusiones

El presente documento describió a detalle el diseño de backbone de fibra óptica en Electrycomp S.A. tomando en todo momento la necesidad de la empresa con respecto a la calidad de servicio, ancho de banda y latencia; en los parámetros de transmisión que ofrecía su radioenlace existente. Dadas las limitantes analizadas, se demostró que el diseño es funcional y escalable para sugerir la realización del proyecto para la empresa.

Las condiciones de transmisión encontradas limitaban el servicio proporcionado por la empresa, teniendo que trabajar con anchos de bandas de 305 mbps máximos, encontrando intermitencias en el enlace en casos donde los factores ambientales tomaban parte importante de la problemática. La latencia por propagación del radio oscilaba valores de 1ms, lo cual era inaceptable para el cumplimiento de los parámetros de calidad de servicio previstos por Electrycomp. Por lo que la presentación de una solución de migración a tecnología de fibra óptica es atractiva para desarrollar.

El levantamiento del enlace troncal nos permitió demostrar, mediante herramientas como el odómetro digital y el receptor GPS de Garmin, que es posible definir la ruta optima obteniendo la distancia y cantidad de postes, tomados en consideración al momento de establecer el recorrido, validando que el span sea el recomendado según las regulaciones locales, para que el tendido no interfiera con el tránsito vehicular. Además, se identificaron las condiciones técnicas en los puntos Barrio Betancourt y Barrio Laureles Norte confirmando la posibilidad de desplegar el enlace físico de fibra, cumpliendo con los requerimientos de ampliación descritos por Electrycomp.

El diagrama de fibra optica se obtuvo mediante herramientas por software, utilizando GPS Garmin a través de su programa llamado BaseCamp; se obtienen coordenadas y datos para su procesamiento en AutoCAD, con modelado digital de los trayectos de

fibra óptica, generando una representación en dos dimensiones geolocaliza de los puntos de interés.

Se realizaron recuento de materiales necesarios para el tendido de fibra óptica en los trayectos principal y respaldo con el proveedor DISMATEL que tiene un amplio recorrido en Nicaragua en fibra ópticas, obteniendo una cotización de precios en materiales, con los cuales para este documento se adecuan a la cantidad de punto de interés (postes), dando como resultado tabla de costos de materiales por trayecto Principal y Respaldo.

VIII. Recomendaciones

Basado en el diseño del Backbone de fibra óptica y los hallazgos de esta investigación, se recomienda a la gerencia técnica de Electrycomp S.A.

Realizar pruebas de reflectometría una vez finalizado el tendido y las fusiones, es imperativo certificar cada uno de los hilos de fibra óptica para asegurar que los niveles de atenuación estén dentro de los estándares permitidos y detectar posibles micro curvaturas. Por otro lado, el etiquetado normalizado, Implementar un sistema de etiquetado en cada ODF y en los cierres de empalme de la planta externa, siguiendo normas internacionales como la TIA/EIA-606, para facilitar la identificación de rutas durante futuras expansiones o reparaciones.

Inspección visual de planta externa que conllevaría programar recorridos a lo largo de las de rutas planteadas para verificar la tensión del cable ADSS y el estado de los herrajes, especialmente en zonas de alta vegetación o cruces de vías principales. También un dato importante que es Gestionar y mantener actualizado las reservas Técnicas, acá se debe asegurar que las crucetas de reserva de 80x80cm se mantengan despejadas y accesibles, garantizando que el excedente de cable esté disponible para intervenciones rápidas ante cortes accidentales. Registro de Lecturas de Potencia Iniciales ya que, al momento de la entrega, se debe documentar la potencia de recepción en cada nodo. Este valor servirá como línea base para futuras auditorías; cualquier desviación mayor respecto a este valor original indicará un problema físico en el Backbone.

IX. Referencias Bibliográficas

Agrawal, G. P. (2021). *Fiber-optic communication systems* (5.ª ed.). Wiley.

Anderson, R. (2018). *Troubleshooting Optical Fiber Networks: Understanding and Using Your OTDR*. Elsevier Science.

Cisco Systems. (2020). *Cisco Campus LAN Design Guide*. Cisco Press. https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/CVD/Campus/campus-lan-design-guide.html

Chomycz, B. (2009). *Planning Fiber Optics Networks*. McGraw-Hill Education.

Freeman, R. L. (2013). *Radio System Design for Telecommunications* (3.ª ed.). Wiley-IEEE Press.

Frenzel, L. E. (2019). *Principles of Electronic Communication Systems* (4.ª ed.). McGraw-Hill Education.

Hayes, J., & Rosenberg, P. (2021). *Data Network Design* (3.ª ed.). Sybex.

Hui, R., & O'Sullivan, M. (2009). *Fiber Optic Measurement Techniques*. Academic Press.

ITU-T. (2016). *Recommendation G.652: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*. International Telecommunication Union.

Keiser, G. (2019). *Optical Fiber Communications* (5.ª ed.). McGraw-Hill Education.

Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2021). *Computer Networking: A Top-Down Approach* (8.ª ed.). Pearson.

Miya, T. (2018). *Optical Fiber Communication Systems*. Springer.

Senior, J. M., & Jamro, M. Y. (2021). *Optical Fiber Communications: Principles and Practice* (4.ª ed.). Pearson Education.

Stallings, W. (2018). *Data and Computer Communications* (10.ª ed.). Pearson.

Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J. (2021). *Computer Networks* (6.ª ed.). Pearson.

Telecommunications Industry Association. (2016). *ANSI/TIA-568.3-D: Optical Fiber Cabling Components Standard*. TIA.

Tomasi, W. (2020). *Electronic Communications Systems: Fundamentals Through Advanced* (6.ª ed.). Pearson.

Anexos

Reporte fotográfico del levantamiento que se realizó en las rutas trazadas desde el punto A hacia el punto B.

Anexo A. *Inicio del Recorrido*



(Nodo Laureles Norte)

Anexo B. *Primer poste en ruta*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo C. *Vista panorámica nodo Laureles Norte.*



(Nodo Laureles Norte)

Anexo D. *Segundo poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo E.*Tercer poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo F.*Cuarto poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo G.*Quinto poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo H.*Sexto poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo I. *Noveno poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo J. *Decimo poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo K. *Undecimo poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo L. *Duodecimo poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo M. *Decimotercer poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo N. *Decimocuarto poste de ruta*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo Ñ. *Decimoquinto poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo O. *Decimosexto poste de ruta*



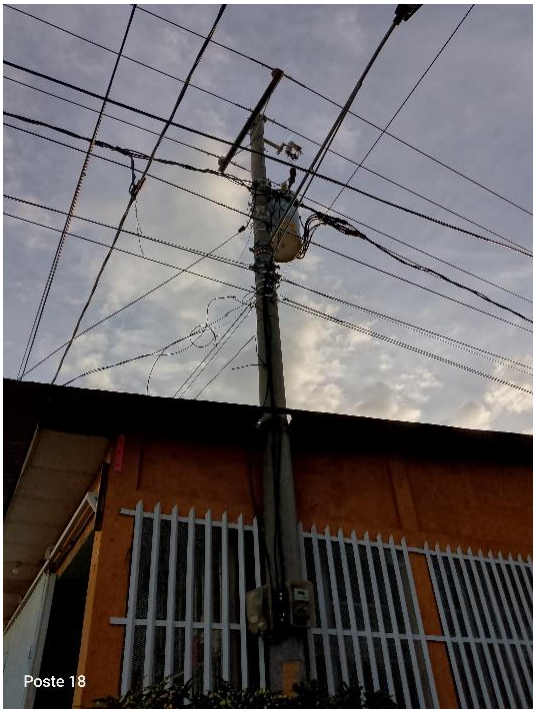
(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo P. *Decimoseptimo poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo Q. *Decimoctavo poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo R. *Decimonoveno poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo S. *Vigesimo poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo T. *Vigesimoprimer poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo V. *Vigesimosegundo poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo W. *Vigesimotercer poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo X. *Vigesimoquinto poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo Y. *Vigesimosexto poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo Z. *Vigesimosexto poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo AA. *Vigesimoseptimo poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo AB. *Vigesimoctavo poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo AC. *Vigesimonoveno poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo AD. *Vigesimonoveno poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo AE. *Trigesimo poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo AF. *Trigesimoprimer poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo AG. *Trigesimosegundo poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo AH. *Trigesimotercer poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo AI. *Trigesimocuarto poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo AJ. *Trigesimoquinto poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo AK. *Trigesimosexto poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo AL. *Trigesimoseptimo poste de ruta.*



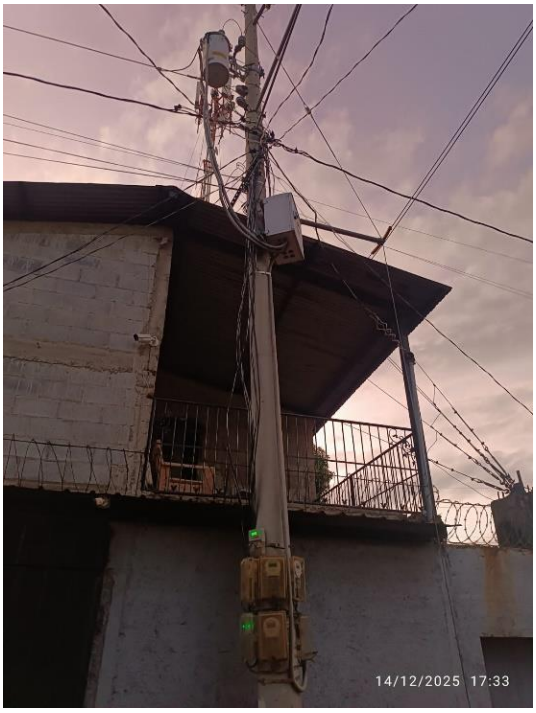
(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo AM. *Trigesimoctavo poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)

Anexo AN. *Trigesimonoveno poste de ruta.*



(Poste de tendido Eléctrico)