
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
CARRERA: ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

TEMA:

SISTEMA DE COMUNICACION POR FIBRA OPTICA Y ENLACE
INALAMBRICO PARA LA CORPORACION NACIONAL DE
ELECTRICIDAD CNEL REGIONAL SANTO DOMINGO

AUTOR :

LOURDES ANGELICA PROANO LOZADA

AMBATO - ECUADOR
MAYO/2009

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de graduación o titulación: Trabajo Estructurado de Manera Independiente sobre el tema: “SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR FIBRA ÓPTICA Y ENLACE INALÁMBRICO PARA LA CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD CNEL REGIONAL SANTO DOMINGO.”, de Lourdes Angélica Proaño Lozada, egresada de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación.

Ambato Abril 25, 2010

EL TUTOR

Ing. Marco Jurado

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación titulado: “SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR FIBRA ÓPTICA Y ENLACE INALÁMBRICO PARA LA CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD CNEL REGIONAL SANTO DOMINGO.”. Es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor y su propiedad intelectual pertenecen al graduando de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato Abril 25, 2010

Lourdes Angélica Proaño Lozada
CC: 180418808-2

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE CALIFICACION

El Tribunal de Calificación, conformada por los señores docentes Ing. Geovany Brito e Ing. Julio Cuji, aprueban el trabajo de graduación o titulación Trabajo Estructurado de Manera Independiente titulado: SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR FIBRA ÓPTICA Y ENLACE INALÁMBRICO PARA LA CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD CNEL REGIONAL SANTO DOMINGO, presentado por la señorita Lourdes Angélica Proaño Lozada.

Ing. Oswaldo Paredes
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Geovanny Brito
DOCENTE CALIFICADOR

Ing. Julio Cuji
DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA:

*Dedico este trabajo a mis
padres quienes me han
apoyado durante todo mi
proceso educativo,
brindándome su
confianza y
aconsejándome cuando lo
necesité, también
consagro mi trabajo a
Dios por darme vida y
fortaleza para realizarlo*

Lourdes Proaño

AGRADECIMIENTO:

A Dios y mis padres, gracias a ellos tengo vida y fortaleza para cumplir con mis metas, a mi tutor Ing. Marco Jurado por compartir sus conocimientos y experiencias para lograr realizar este trabajo y también gratifico a las autoridades, docentes y personal administrativo de mi Facultad quienes me han apoyado indistintamente con lo que he necesitado

Lourdes Proaño

RESUMEN EJECUTIVO

La Corporación Nacional de Electricidad “CNEL” regional Santo Domingo es una entidad pública que sustituyó a la Empresa Eléctrica Santo Domingo “EMELSAD”, con el fin de mejorar el servicio eléctrico brindado a sus usuarios. Es por ello que el proyecto está orientado al mejoramiento de la comunicación entre subestaciones y la central de la Corporación Nacional de Electricidad regional Santo Domingo utilizando sistemas de comunicación que proporcionan mayor seguridad, confiabilidad y disponibilidad de información en la matriz para optimar la atención a sus clientes.

En el capítulo primero se describe el problema en la comunicación de la Corporación, por lo cual se desea mejorarlo contando con sistemas de mayor confianza, para conseguir el objetivo de atender de mejor manera a sus usuarios.

En el capítulo segundo se tiene el respaldo bibliográfico necesario para el desarrollo del sistema de fibra óptica y enlace inalámbrico, describiendo los parámetros principales sobre los medios de comunicación que se proponen como solución al problema de la Corporación, entre ellos están:

- Fibra óptica (características, propiedades, ventajas, desventajas, etc.)
- Sistema de transmisión óptico
- Tendencias de las telecomunicaciones
- Sistemas de transmisión inalámbrico, entre otros

El tercer capítulo engloba el marco metodológico, enfoque que se tuvo en el proceso de investigación, modalidad y niveles de la investigación, población y técnica de recolección de información, además los resultados obtenidos de la misma, importantes para determinar si la solución propuesta es la mejor para la Corporación.

El cuarto capítulo recoge las conclusiones obtenidas del análisis de los resultados de la investigación, además de recomendaciones para mejorar el sistema.

El Capítulo V contiene el diseño del sistema propuesto como solución al problema de comunicación de la Corporación, diseñando el sistema de fibra óptica, proponiendo la fibra óptica, equipos y accesorios necesarios para el sistema, que se consideraron de mejores características para el sistema; para el radioenlace se realizó un estudio de mejor ruta, pérdidas y equipos necesarios para el mismo, respaldando con una simulación del radioenlace. El sistema cubre con los requerimientos impuestos por la Corporación.

El Capítulo VI contiene las conclusiones y las recomendaciones sobre el sistema de fibra óptica y el enlace inalámbrico diseñado.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	i
Error! Marcador no definido.	
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	i
AUTORÍA.....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE CALIFICACION.....	iii
DEDICATORIA:.....	iv
AGRADECIMIENTO:.....	v
RESUMEN EJECUTIVO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
CAPITULO I.....	¡Error! Marcador no definido.
EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1. Planteamiento del problema.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1. Contextualización.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.2. Análisis crítico.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.3. Prognosis.....	¡Error! Marcador no definido.
1.2. Formulación del problema.....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.1. Preguntas directrices.....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.2. Delimitación del problema.....	¡Error! Marcador no definido.
1.3. Justificación.....	¡Error! Marcador no definido.
1.4. Objetivos de la investigación.....	¡Error! Marcador no definido.
1.4.1. Objetivo general.....	¡Error! Marcador no definido.
1.4.2. Objetivos específicos.....	¡Error! Marcador no definido.
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	i
AUTORÍA.....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE CALIFICACION.....	iii
<i>DEDICATORIA:</i>	iv
<i>AGRADECIMIENTO:</i>	v
RESUMEN EJECUTIVO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii

INTRODUCCIÓNxiii

APROBACIÓN DEL TUTOR.....i

AUTORÍAii

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE CALIFICACIONiii

DEDICATORIA:.....iv

AGRADECIMIENTO:.....v

RESUMEN EJECUTIVOvi

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....viii

INTRODUCCIÓNxii

APROBACIÓN DEL TUTOR.....i

AUTORÍAii

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE CALIFICACIONiii

DEDICATORIA:.....iv

AGRADECIMIENTO:.....v

RESUMEN EJECUTIVOvi

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....viii

INTRODUCCIÓNx

APROBACIÓN DEL TUTOR.....i

AUTORÍAii

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE CALIFICACIONiii

DEDICATORIA:.....iv

AGRADECIMIENTO:.....v

RESUMEN EJECUTIVOvi

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....viii

INTRODUCCIÓNx

INTRODUCCIÓN

La Corporación Nacional de Electricidad “CNEL” es una entidad pública distribuidora de energía eléctrica, creada en Enero del 2009, fusiona diez distribuidoras de energía en todo el país: Manabí, Bolívar, Península de Santa Elena, Santo Domingo, Guayas-Los Ríos, El Oro, Sucumbíos, Los Ríos, Esmeraldas y Milagro.

La Corporación Nacional de Electricidad “CNEL” regional Santo Domingo sustituyó a la Empresa Eléctrica Santo Domingo “EMELSAD” con el fin de mejorar el servicio eléctrico brindado a sus usuarios.

La dirección de CNEL regional Santo Domingo está a cargo del Ingeniero Mario Antonio Badillo quien fue ratificado en sus funciones por su gran desempeño en sus veintitrés meses de administración de EMELSAD. El área de concesión de CNEL regional Santo Domingo es la misma de EMELSAD que actualmente es de 6500 Kilómetros llegando a 130676 clientes.

La misión de la nueva entidad es mejorar el servicio eléctrico suministrado a sus usuarios, para ello CNEL regional Santo Domingo cuenta con diez subestaciones eléctricas con las cuales la matriz debe comunicarse diariamente ya que de ellas se distribuye Energía Eléctrica a todos los usuarios siendo ellos la razón de existencia de la Corporación. Por esta razón, el Jefe del Departamento de Planificación, Ing. Edmundo Santander aspira contar con un sistema de comunicación con tecnología avanzada entre subestaciones eléctricas y la matriz donde se encuentra el centro de control.

Debido a que CNEL regional Santo Domingo es una entidad de gran extensión, se diseña un sistema de comunicación por fibra óptica que unirá la matriz con cuatro subestaciones eléctricas: La Cadena, Centenario, Quito, y Quevedo; cinco subestaciones eléctricas se unirán a la red de fibra óptica a futuro: El Carmen, Patricia Pilar, Valle Hermoso, La Concordia y Alluriquín. La subestación eléctrica El Rocío se enlazará inalámbricamente con la central pues se considera la mejor alternativa.

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

1.1. Planteamiento del problema.

El deficiente sistema de comunicación que existe entre la CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD (CNEL) regional Santo Domingo, con las subestaciones eléctricas: Quevedo, La Cadena, Quito, Centenario y El Rocío, produce ineficaz servicio a sus clientes y pérdidas de información, no permitiendo una solución inmediata al problema presentado.

1.1.1. Contextualización

En el mundo existen empresas que brindan sus servicios con tecnologías avanzadas, otorgándoles alto prestigio y garantizando la calidad del servicio a sus clientes.

El avance tecnológico en las comunicaciones, concede la oportunidad de crecer institucionalmente, siendo los países industrializados quienes mejores sistemas de comunicación tienen actualmente.

En nuestro país existen empresas que han desarrollado sistemas de comunicación de gran alcance y seguridad, tal es el caso de TRANSELECTRIC S.A, que actualmente

cuenta con sistemas de comunicación por fibra óptica, que le permite cubrir varias ciudades del país, brindando mejor servicio eléctrico y de telecomunicaciones a sus clientes, caso similar maneja TELCONET y otras empresas, que buscan expandir sus servicios con mejor tecnología.

Estas empresas han avanzado tecnológicamente y a gran escala, siendo un reto para cada una mantener el nivel respectivo y garantizar la calidad del servicio a sus clientes.

En la ciudad de Santo Domingo de los Tsachilas, existen empresas que cuentan con sistemas de tecnología avanzada, otorgándoles la oportunidad de conectarse a nivel nacional y brindándoles alto prestigio.

En la Corporación Nacional de Electricidad regional Santo Domingo, se ha visto la necesidad de implementar sistemas de comunicación con tecnología avanzada, para brindar satisfacción a sus clientes y otorgar seguridad en la transferencia de información con sus subestaciones eléctricas.

1.1.2. Análisis crítico

La deficiente comunicación de la Corporación Nacional de Electricidad regional Santo Domingo con las subestaciones eléctricas, se debe principalmente por no contar con un sistema que brinde un ancho de banda que cubra los requerimientos actuales, facilite el alcance de sistemas de alta capacidad y proporcione seguridad, con lo que la empresa podría mejorar la comunicación.

Otro factor que afecta la comunicación con las subestaciones eléctricas, es la falta de sistemas de respaldo, que puedan garantizar la adquisición de la información en la central ante problemas producidos en alguna de ellas.

1.1.3. Prognosis

La inexistencia de un sistema de comunicación con tecnología avanzada se ve reflejada en un servicio de baja calidad hacia sus usuarios, provocando una comunicación deficiente con las subestaciones eléctricas, disminuyendo la confiabilidad y disponibilidad de la información, además de retrasar tecnológicamente a la institución.

1.2. Formulación del problema

¿El diseño del sistema de comunicación por fibra óptica y enlace inalámbrico entre las subestaciones eléctricas y la matriz, permitirá mejorar el sistema de adquisición y control de información en la central?

1.2.1. Preguntas directrices

1.2.1.1. ¿Cuáles son las bases teórico-técnicas de un sistema de comunicación por fibra óptica y del enlace inalámbrico?

1.2.1.2. ¿Qué beneficios brindará el estudio de los procesos y usos de la fibra óptica y del enlace inalámbrico en la Corporación Nacional de Electricidad CNEL regional Santo Domingo?

1.2.1.3. ¿Será factible plantear el diseño del sistema de comunicación por fibra óptica y enlace inalámbrico para la Corporación Nacional de Electricidad CNEL regional Santo Domingo?

1.2.2. Delimitación del problema

El proyecto se realizó en la Corporación Nacional de Electricidad regional Santo Domingo ubicada en la Cooperativa Nacional, Avenida Los Tsachilas entre las calles Rio Tarqui y Rio Yanuncay y se desarrolló en el lapso de seis meses a partir de la aprobación del Honorable Consejo Directivo.

1.3. Justificación

En un mundo globalizado donde la comunicación tiene cada vez mayor importancia es indispensable el desarrollo tecnológico en el país. El beneficio del presente proyecto se verá reflejado en sistemas con mayor seguridad y alcance con las subestaciones eléctricas y el mejor servicio brindado a sus usuarios.

Se debe tomar en cuenta el crecimiento institucional que se logrará no solo a nivel nacional, sino también a nivel internacional, contando con sistemas de tecnología avanzada capaces de cubrir servicios actuales y futuros, además de poder acceder a las subestaciones en cualquier parte del mundo para tomar decisiones oportunamente y sin pérdidas de tiempo y recursos.

La importancia que se tiene a nivel investigativo es otro aspecto fundamental, pues tanto el investigador como los miembros de la Corporación se involucran con el desarrollo de tecnologías nuevas que tienen proyecciones futuras de gran importancia que permitirán un crecimiento institucional de alto nivel.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de comunicación por fibra óptica y enlace inalámbrico para la Corporación Nacional de Electricidad regional Santo Domingo.

1.4.2. Objetivos específicos

1.4.2.1. Analizar las bases teórico-técnicas de los sistemas de comunicación por fibra óptica y enlace inalámbrico.

1.4.2.2. Realizar un estudio sobre los procesos y usos de la fibra óptica y del enlace inalámbrico en la Corporación Nacional de Electricidad regional Santo Domingo.

1.4.2.3. Plantear una propuesta de diseño de un sistema de comunicación por fibra óptica y enlace inalámbrico para la Corporación Nacional de Electricidad regional Santo Domingo.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes investigativos

Trabajos similares al presente existen tanto en la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato como en internet, ejemplos: “Diseño de un enlace inalámbrico para transmisión de datos entre las sucursales de Andinamotors 1 y 2 para la compañía Compumática Cía. Ltda.”, Autor Cesar Cáceres Montesdeoca, “Estudio de las redes ópticas de acceso DWDM y factibilidad de ser implementado en la zona central del Ecuador”. Autor: Juan Pablo Pallo, entre otros, difieren con el presente estudio en el lugar de aplicación e incluir, simultáneamente, el diseño del sistema de fibra óptica y el enlace inalámbrico.

2.2. Fundamentación

2.2.1. Fundamentación legal

La Corporación Nacional de Electricidad (CNEL), es una entidad de reciente creación, la cual está formada por diez Empresas Eléctricas, ocho de la región Costa, una de la Sierra y otra de la región Oriente del Ecuador

La Corporación Nacional de Electricidad regional Santo Domingo es un organismo público que sustituyó a la Empresa Eléctrica Santo Domingo (EMELSAD) en Enero del 2009, otorga servicio de Energía Eléctrica dentro del área de concesión determinada, abarcando 6500 Km².

La gerencia está a cargo del Ingeniero Mario Badillo, quien ha sido ratificado de su anterior administración.

2.3. Categorías fundamentales

2.3.1. Fibra Óptica

Es un filamento de vidrio o plástico de Dióxido de Silicio (SiO₂) por el que se transmite señales luminosas, las cuales se convierten de eléctricas a luminosas y en el extremo opuesto de la fibra nuevamente a señales eléctricas. La fibra óptica beneficia brindando una capacidad de ancho de banda ilimitado, pero las limitantes tecnológicas son las que imposibilitan aprovechar su potencialidad. En la Fig. 1 se puede observar las señales luminosas en un cable óptico.

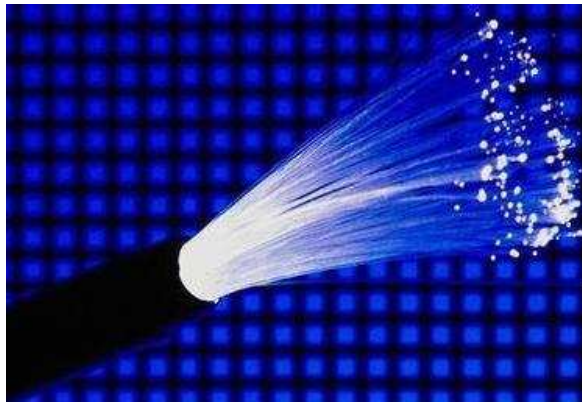


Fig. 1 Fibra óptica¹

2.3.1.1. Transmisión de la luz por la fibra óptica

La transmisión de luz se fundamenta en la reflexión interna total; los rayos de luz se propagan por el núcleo de la fibra óptica cumpliendo la condición que el índice de refracción del núcleo debe ser mayor al índice de la cubierta y el ángulo de incidencia mayor al ángulo crítico, de esta manera toda la luz se refleja hacia el interior de la fibra sin pérdidas además puede transmitirse a grandes distancias reflejándose miles de veces. Cuando los ángulos de incidencia son menores al ángulo crítico los rayos de luz se refractan y pasan a la cubierta de la fibra óptica, y en los ángulos iguales al ángulo crítico, los rayos se refractan paralelamente a la superficie de separación entre el núcleo y el revestimiento.

2.3.1.2. Componentes de la Fibra Óptica

La fibra óptica está compuesta por cinco partes, como se observa en la Fig. 2, estas son: núcleo, revestimiento, buffer, hilos de Kevlar y recubrimiento.

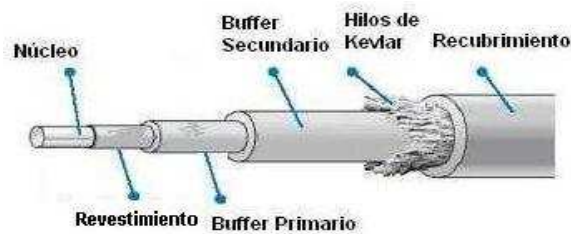


Fig. 2 Componentes de la fibra²

2.3.1.2.1. Núcleo: Este elemento emite los pulsos de luz desde el transmisor hacia el receptor y se encuentra en el centro de la fibra óptica; mientras el diámetro del núcleo es más grande, mas cantidad de luz se podrá emitir por el cable óptico. Su composición puede ser sílice, cuarzo fundido o plástico de índice de refracción alto.

2.3.1.2.2. Revestimiento: Esta fabricado de silicio, con un índice de refracción menor que el del núcleo. Envuelve y resguarda al núcleo para asegurar que todos lo haces de luz sean reflejados, reteniéndolos dentro el núcleo, además, proporciona resguardo extra frente a curvaturas ya que se incrementan otras capas de plástico las cuales absorben impactos o golpes que sufra la fibra óptica.

2.3.1.2.3. Buffer: Es un material amortiguador que impide que la fibra óptica sufra daños, generalmente su fabricación es a base de plástico. Existen dos diseños básicos para el cable, estructura ajustada y estructura abierta.

2.3.1.2.4. Hilos de Kevlar: Este elemento evita el estiramiento de la fibra óptica en el periodo de instalación.

2.3.1.2.5. Recubrimiento: El recubrimiento brinda resguardo a la fibra frente a desgaste, solvente y demás contaminantes.

2.3.1.3. Características

Las principales características de la fibra óptica son:

2.3.1.3.1. Características Mecánicas

a. Módulo de Young. El Módulo de Young es la fuerza por unidad de área que ocasiona alargamiento en la fibra óptica y tiene un valor de 700 kp/mm^2 ($1 \text{ kp}=9.80665\text{N}$)

b. Carga de Rotura. Se refiere a la fuerza por unidad de área que podría romper la fibra óptica, su valor es 400kp/mm^2

- c. **Coefficiente de dilatación.** Este parámetro refleja el alargamiento que se produce en la fibra óptica en cada grado de temperatura, con un valor aproximado de $0.5 \cdot 10^{-6}$ por cada °C
- d. **Radio de curvatura.** El radio de curvatura mínimo debe ser diez veces mayor al diámetro de la fibra.
- e. **Peso.** Los cables de fibra óptica se caracterizan por tener un peso inferior al de los cables metálicos.

2.3.1.3.2. Características de transmisión.

- a. **Atenuación.**- Es el decrecimiento de la potencia óptica respecto a la distancia, sus efectos son disminución de la amplitud de los pulsos.
- b. **Dispersión.**- Provoca ensanchamiento de los pulsos
- c. **Ancho de banda.**- Es la medida de la capacidad de transmisión de información ó, rango de modulación a la cual la potencia luminosa decae, comparado con el valor que tiene a la frecuencia central.
- d. **Diámetro del campo modal.**- “Diámetro del campo (lejano o cercano de acuerdo con el método de medida) emitido en el extremo de la FO monomodo”², su valor aumenta cuando incrementa la longitud de onda guiada
- e. **Longitud de la onda de corte.**- Por una fibra óptica monomodo se propagan varios rayos de luz, no solo un rayo, esta fibra se comporta como monomodo para una determinada longitud de onda, debajo de este valor la fibra óptica guía varios rayos de luz comportándose como una fibra óptica multimodo. La

longitud de onda en la que se produce la separación entre monomodo y multimodo para una fibra óptica se la conoce como Longitud de Onda de Corte. En un sistema de comunicación, para la transmisión en un solo modo, se debe cerciorar que la longitud de onda de transmisión sea mayor que la longitud de onda de corte, si la longitud de onda decrece por debajo de la longitud de onda de corte, se producen más modos ocasionando pérdidas de información.

2.3.1.3.3. Características geométricas

- a. **Diámetro del recubrimiento.-** El diámetro del recubrimiento tiene un valor nominal de 125um.
- b. **Diámetro del núcleo.-** Los valores sugeridos para el diámetro del núcleo de la fibra óptica es de 9um, 50um, 62.5um.
- c. **Error de Concentricidad.-** El error de concentricidad es la diferencia entre el centro del núcleo y centro del recubrimiento.
- d. **No circularidad del núcleo.-** La relación entre los diámetros interno y externo de la fibra óptica se conoce como no circularidad del núcleo.

2.3.1.3.4. Características ópticas

- a. **Perfil de refracción.-** El perfil del índice de refracción de la fibra óptica se obtiene considerando la relación del índice de refracción en función del radio, es decir, la relación del “Índice de refracción sobre la sección transversal de la fibra óptica”². Si permanece constante el índice de refracción de la cubierta, se puede clasificar a la fibra en función de su perfil de refracción en dos grupos: perfil gradual y perfil escalonado.

- b. **Apertura numérica.-** Es el rango de ángulos de los rayos de luz que ingresan a la fibra y son reflejados en su totalidad, es el indicador del ángulo máximo con que un rayo de luz puede ingresar a la fibra. El valor normalizado para la fibra óptica multimodo del índice gradual es $50/125\mu\text{m}$, según la norma UIT-T G.651; mientras que para la fibra óptica monomodo este valor no está normalizado.
- c. **Ángulo de aceptación.-** Describe la región que certifica que los rayos incidentes se propagan por la fibra óptica.

2.3.1.4. Ventanas de operación de la fibra óptica

2.3.1.4.1. Espectro electromagnético

Todas las ondas electromagnéticas se generan de la misma manera, una de las propiedades en común es la velocidad con la que viajan en el vacío, que es aproximadamente 300.000 Km/s , siendo esta la velocidad de la luz.

Los ojos humanos pueden apreciar una pequeña parte del espectro electromagnético de longitud de onda.

En la Fig.3 se observa los colores que el ojo humano distingue con el respectivo rango de longitud de onda para cada color.

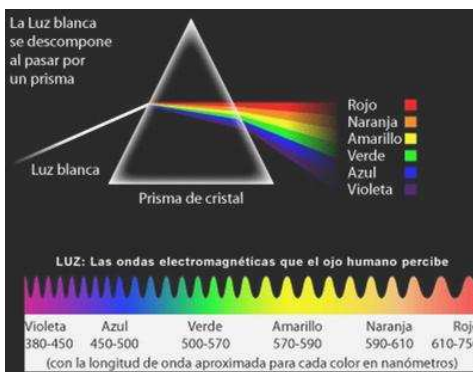


Fig. 3 Colores que el ojo humano distingue³

Las longitudes de onda que, para el ojo humano no son visibles, se aplican para la transmisión de datos por fibra óptica y se las conoce como luz infrarroja. Las longitudes de onda que se usa en la fibra óptica son de 850nm, 1310nm y 1550nm. La Fig. 4 ilustra la división del espectro electromagnético, donde se aprecia las bandas con su longitud de onda, frecuencia y energía correspondientes.

<i>ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO</i>			
Banda	Longitud de onda (m)	Frecuencia (Hz)	Energía (J)
Rayos gamma	< 10 pm	> 30,0 EHz	> 20·10 ⁻¹⁵ J
Rayos X	< 10 nm	> 30,0 PHz	> 20·10 ⁻¹⁸ J
Ultravioleta extremo	< 200 nm	> 1,5 PHz	> 993·10 ⁻²¹ J
Ultravioleta cercano	< 380 nm	> 789 THz	> 523·10 ⁻²¹ J
Luz Visible	< 780 nm	> 384 THz	> 255·10 ⁻²¹ J
Infrarrojo cercano	< 2,5 μm	> 120 THz	> 79·10 ⁻²¹ J
Infrarrojo medio	< 50 μm	> 6,00 THz	> 4·10 ⁻²¹ J
Infrarrojo lejano/submilimétrico	< 1 mm	> 300 GHz	> 200·10 ⁻²⁴ J
Microondas	< 30 cm	> 1 GHz	> 2·10 ⁻²⁴ J
Ultra Alta Frecuencia - Radio	< 1 m	> 300 MHz	> 19.8·10 ⁻²⁶ J
Muy Alta Frecuencia - Radio	< 10 m	> 30 MHz	> 19.8·10 ⁻²⁸ J
Onda Corta - Radio	< 180 m	> 1,7 MHz	> 11.22·10 ⁻²⁸ J
Onda Media - Radio	< 650 m	> 650 kHz	> 42.9·10 ⁻²⁹ J
Onda Larga - Radio	< 10 km	> 30 kHz	> 19.8·10 ⁻³⁰ J
Muy Baja Frecuencia - Radio	> 10 km	< 30 kHz	< 19.8·10 ⁻³⁰ J

Fig. 4 Espectro Electromagnético⁴

2.3.1.4.2. Ventanas de trabajo

Se seleccionan tres ventanas del Espectro Electromagnético de la Fig.4 ya que permiten pasar por la fibra óptica con mayor facilidad, estas ventanas son:

a. Primera ventana= 850nm

Actualmente ya no se usa porque presenta valores de atenuación muy alta, por lo que cubre distancias muy cortas.

b. Segunda ventana= 1310nm

Se usa en sistemas de baja y media velocidad, en redes locales y urbanas.

c. Tercera ventana= 1550nm

Sistemas de alta velocidad y largo alcance.

Las ventanas de operación de la fibra óptica se puede observar en la Fig. 5

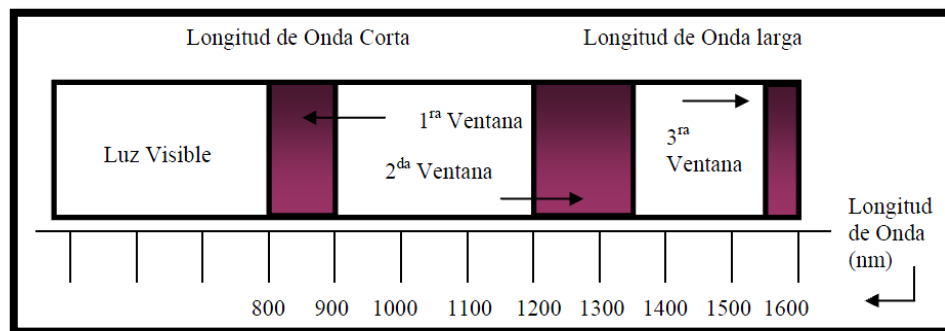


Fig. 5 Ventanas de operación²

2.3.1.5. Atenuación de la fibra óptica

Las pérdidas por atenuación dependen de la longitud de onda de la luz y del material por el cual se propaga, la disminución de la potencia óptica es en función inversa a la longitud de la fibra óptica, su unidad de medida es dB/Km que representa la pérdida de luz en un kilómetro.

Los parámetros que influyen en la atenuación se ilustran el Fig. 6

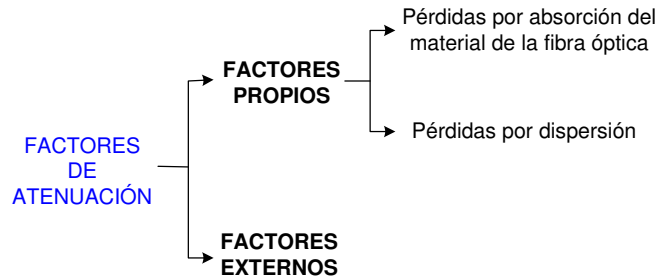


Fig. 6 Factores de atenuación

2.3.1.5.1. Factores propios

- a. **Pérdidas por absorción del material de la fibra.-** Se producen por impurezas que absorben luz convirtiendo en calor, ejemplos de impurezas son iones metálicos, Níquel Variado OH^- , etc.
- b. **Pérdidas por dispersión.-** Se presentan como reflexiones del material ocasionadas por irregularidades microscópicas que se producen en la fabricación. Estas pérdidas abarcan las imperfecciones de la fibra óptica en la unión núcleo-revestimiento, impurezas y burbujas en el núcleo, pérdidas de radiación por micro curvaturas, pérdidas de Rayleigh, entre otras.

En la Fig. 7 se observan las pérdidas que ocasionan atenuación, donde el eje X representa la longitud de onda y el eje Y la atenuación. La curva representa las pérdidas por microcurvaturas que se producen en la fibra óptica, las crestas que aparecen cerca de las ventanas que frecuentemente se usa para la transmisión con fibra óptica (850, 1310 y 1550 nm) se generan por la absorción debida al Ion Hidroxilo OH^- .

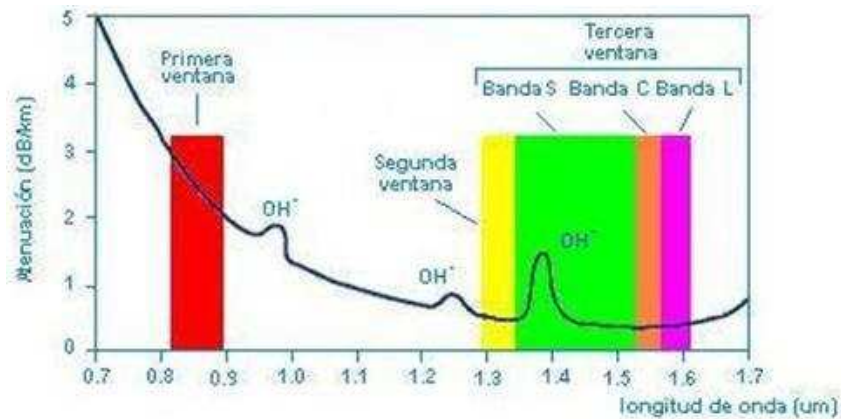


Fig. 7 Atenuación de la fibra óptica⁵

2.3.1.5.2. Factores externos

El principal factor externo que ocasiona pérdida de la luz son las deformaciones mecánicas, especialmente las curvaturas ya que algunos rayos no sufren la reflexión total y se escapan del núcleo, las curvaturas se clasifican en macro curvaturas cuando el radio es de un centímetro o más y en micro curvaturas cuando el radio es de unos pocos milímetros.

En la Fig. 8 se observa las curvaturas en una fibra óptica.

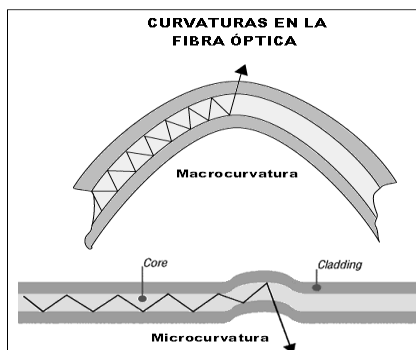


Fig. 8 Curvaturas de la fibra óptica⁶

2.3.1.6. Refracción

La refracción es la desviación de la dirección de una onda al pasar de un material a otro, varía dependiendo del material con el que la fibra óptica ha sido fabricada.

Cada onda electromagnética se propaga con una velocidad de fase diferente, ésta velocidad se conoce como velocidad en la sustancia y su fórmula es:

$$c = \frac{c_0}{n(\lambda)}$$

Donde:

c= velocidad en la sustancia

c₀=velocidad de la luz en el vacío

n= índice de refracción

2.3.1.7. Reflexión en la fibra óptica

2.3.1.7.1. Angulo de Reflexión

El ángulo de reflexión es el ángulo que se forma entre el rayo reflejado y la normal.

2.3.1.7.2. Ley de reflexión

La Ley de la Reflexión establece que el ángulo de reflexión de un rayo de luz es equivalente al ángulo de incidencia, en otras palabras, el ángulo con el que el rayo de luz toca una superficie reflectora establece el ángulo con el que se reflejará el rayo en la superficie.

2.3.1.7.3. Reflexión interna total

Es el principio en el cual se basa la transmisión de los haces de luz en la fibra óptica. Como se puede apreciar en la Fig. 9, los rayos de luz pueden incidir en la superficie de separación núcleo-revestimiento de tres maneras:

- Con un ángulo menor al ángulo crítico, si así ocurre, “los rayos de luz se refractan y pasan al material menos denso, es decir la cubierta de la fibra”⁷
- Con un ángulo mayor al ángulo crítico, donde los rayos de luz permanecen en el núcleo y logran propagarse varios kilómetros.
- Con un ángulo igual al ángulo crítico, cuando esto sucede los rayos de luz “se propagan paralelamente a la superficie de separación entre el núcleo y la cubierta”⁷

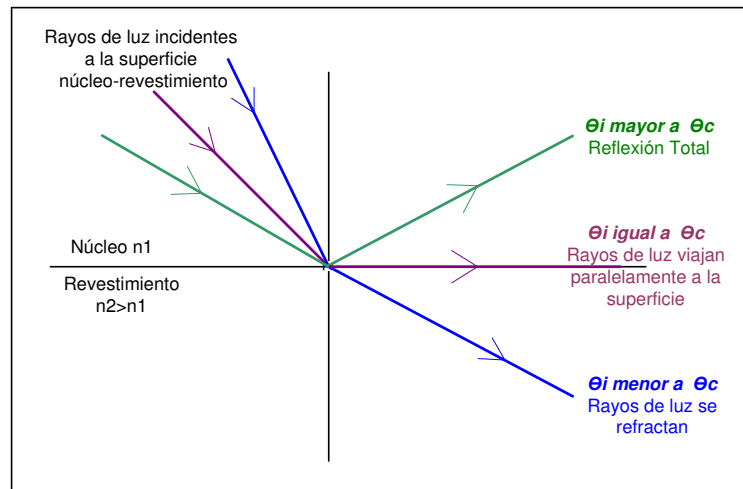


Fig. 9 Formas de incidencia de los rayos de luz

Con el fin de transmitir los rayos de luz sin pérdidas, se debe cumplir con dos condiciones esenciales:

- El índice de refracción del núcleo debe ser mayor al índice de refracción del revestimiento

- b. El ángulo de incidencia del rayo de luz debe ser superior al ángulo crítico para el núcleo y su revestimiento.

Si estas dos condiciones se cumplen correctamente se establecerá la Reflexión Interna Total y toda la información que se propaga en forma de luz viajará dentro de la fibra óptica siguiendo una trayectoria en zigzag a lo largo del núcleo, similar a lo que se aprecia en la Fig. 10.

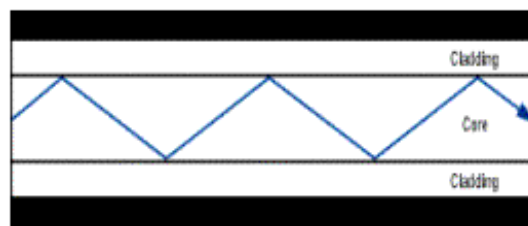


Fig. 10 Reflexión interna total⁸

Para cumplir con la segunda condición es necesario restringir estos dos parámetros:

- a. **Apertura numérica de la fibra óptica:** Se define como apertura numérica del núcleo al rango de ángulos incidentes de los rayos de luz que ingresan a la fibra y que son reflejados en su totalidad. También se conoce como habilidad de recoger la luz de una fibra óptica, entre más grande es la magnitud de la apertura numérica, mayor es la cantidad de luz aceptada por la fibra.

En una fibra de índice escalonado la Apertura Numérica (AN) es el seno del ángulo de aceptación, su expresión matemática es:

$$AN = \sin \phi_{max} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Para una fibra de índice gradual AN es el seno del ángulo crítico cuya expresión matemática es:

$$AN = \sin \phi c$$

b. Modos: Son los trayectos que puede recorrer la luz cuando viaja por la fibra.

2.3.1.8. Dispersión

Los defectos microscópicos de la fibra óptica reflejan y disipan parte de la energía de la luz transmitida provocando de esta forma la dispersión de energía, la cual tiene un efecto negativo ya que limita la distancia de transmisión de la fibra óptica.

La dispersión de energía óptica se clasifica en dos categorías:

- Dispersión modal
- Dispersión cromática

2.3.1.8.1. Dispersión Modal

Como indica la Fig. 11, se produce en la fibra óptica multimodo debido a la diferencia de tiempos de propagación de los rayos de luz al seguir diferentes caminos en la fibra óptica.

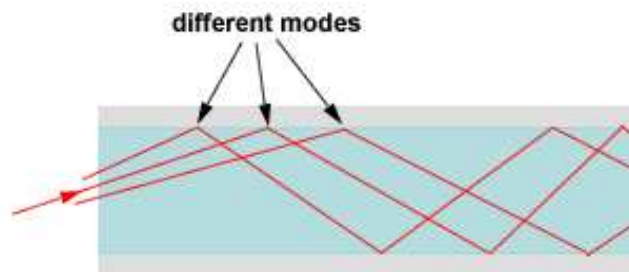


Fig. 11 Dispersión modal⁹

2.3.1.8.2. Dispersión Intramodal o Cromática

Este tipo de dispersión está presente en todos los tipos de fibra óptica, producida por los retardos de las diferentes longitudes de onda, generando una señal distorsionada al final de la fibra óptica.

2.3.1.9. No linealidad de la fibra óptica

Las no linealidades de la fibra óptica ocurren cuando se generan señales causadas por niveles de alta potencia o por amplificadores ópticos afectando negativamente al desarrollo del sistema, estas no linealidades están dentro de dos categorías:

- a. **Dispersión estimulada.-** Se produce cuando señales ópticas interactúan con las ondas acústicas o con vibraciones moleculares en la fibra, ocasionando dispersión de la luz cambiándola a una mayor longitud de onda.
- b. **Índices de fluctuación refractivos.-** La intensidad óptica de la señal de transmisión varía si el índice de refracción es modulado, esto ocurre cuando existen altas potencias relacionadas con los amplificadores ópticos.

2.3.1.10. Modos de propagación de la fibra óptica

Existen dos tipos de modos de propagación de la fibra óptica, monomodo y multimodo, cada uno necesita fibras con características distintas. A su vez, multimodo se puede implementar de dos maneras, índice escalonado e índice gradual.

2.3.1.10.1. Multimodo

En este tipo de fibra se propagan más de un modo de la misma longitud de onda, es decir hay múltiples rayos de luz de una fuente luminosa que se mueven a través del núcleo los cuales toman diferentes trayectorias.

2.3.1.10.1.1. Multimodo Índice Escalonado

Este tipo de fibra presenta un valor de atenuación y dispersión alto, por lo que actualmente está fuera de toda aplicación.

El núcleo de este tipo de fibra es constante y la luz se propaga en línea recta hasta alcanzar la interfaz del núcleo y la cubierta, cuando el rayo de luz choca con esta interfaz, se origina un cambio abrupto en el ángulo de movimiento del rayo de luz. A la rapidez de este cambio se lo conoce como Índice Escalonado, ya que los rayos de luz son recombinados en el receptor, obteniéndose una señal que no es una réplica exacta de la señal que se transmitió, como lo muestra la Fig. 12.

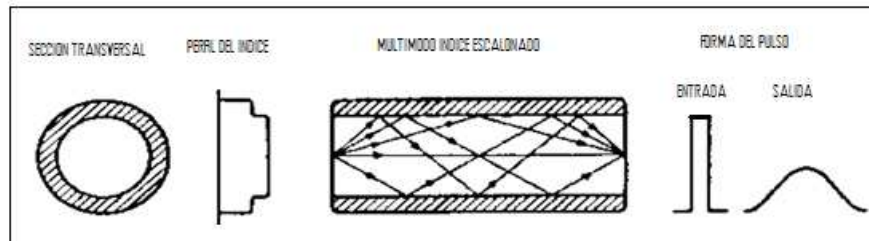


Fig. 12 Fibra óptica multimodo índice escalonado¹⁰

2.3.1.10.1.2. Multimodo Índice Gradual

El valor del índice de refracción del núcleo varía de forma suavizada, según el valor del radio del mismo, hasta alcanzar el valor del índice del recubrimiento, reduciendo en el cable los retardos por dispersión, pues los modos se reflejan al mismo nivel.

Como indica la Fig. 13, la refracción del rayo de luz forma una curva, esto se debe a que el índice de refracción está relacionado con la densidad, como el índice gradual tiene densidad variable, existe una diferencia de densidad, lo que provoca que el rayo se refracte de ese modo.

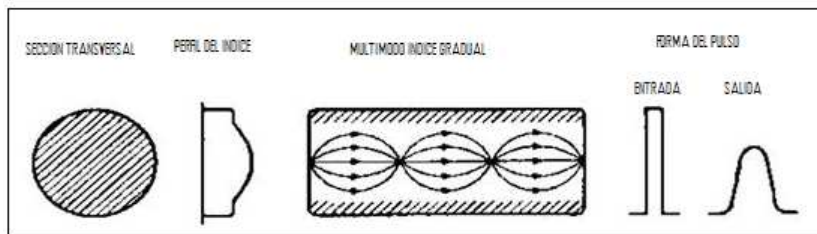


Fig. 13 Fibra óptica multimodo índice gradual¹⁰

2.3.1.10.2. Monomodo

Usa una fibra de Índice Escalonado, los rayos de luz se limitan a un rango muy pequeño de ángulos, todos cerca del horizonte, pues la fuente de luz se encuentra muy enfocada. La luz se propaga casi paralela al eje de la fibra, de esa forma se logra reducir los retardos producidos por las diferentes trayectorias multimodales.

En la Fig. 14 se observa el trayecto que sigue la luz por una fibra monomodo, la cual es casi paralela al eje de la fibra, de esta forma, todos los rayos llegan al destino permitiendo reconstruir la señal sin distorsión.

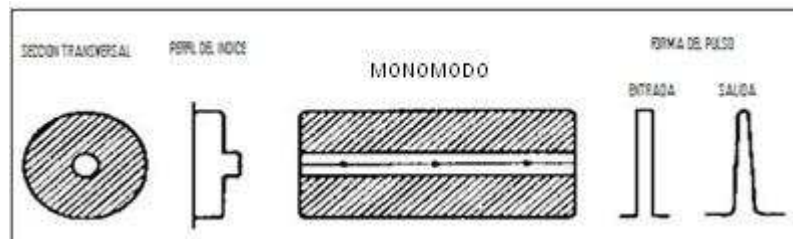


Fig. 14 Fibra óptica monomodo¹⁰

2.3.1.11. Tipos de cable de fibra óptica

Según el diseño existen dos tipos de cables de fibra óptica, cable de estructura holgada y cable de estructura ajustada.

2.3.1.11.1. Cable de fibra óptica de estructura holgada

También llamado cable de estructura suelta, abierta o Loose Tube, se utiliza para cableado en interiores y exteriores, este cable se caracteriza por tener varios tubos de fibra los cuales rodean un elemento de refuerzo que contiene una cubierta protectora. Cada tubo contiene varias fibras ópticas y puede ser huecos o contener un gel hidrófugo para protección contra la humedad, además protege las fibras de fuerzas mecánicas que se ejerzan sobre el cable.

2.3.1.11.2. Cable de fibra óptica de estructura ajustada

Se conoce también con el nombre de Tight Buffer, este cable está diseñado solo para cableado en interiores de edificios, es más flexible y posee un radio de curvatura más pequeño. Contiene varias fibras cada una de las cuales tiene una cubierta de plástico para resguardo contra el entorno y para suministrar soporte físico, las fibras envuelven un elemento central de tracción y todo esto está cubierto por una protección exterior.

2.3.2. Sistema de transmisión óptico

El objetivo es enviar los rayos desde transmisión hasta recepción, el principio básico es convertir la señal de eléctrica a óptica en el transmisor usando una fuente luminosa, propagarla por la fibra hasta el receptor y volver a convertir la señal en eléctrica, utilizando para ello una célula fotosensible (fotodiodo).

2.3.3.1. Transmisor

Recibe señales eléctricas que deben ser transmitidas, la potencia que emita debe ser mayor a las pérdidas ocasionadas durante el trayecto y debe transmitir luz en el rango de operación de la fibra óptica.

La fuente de la fibra óptica debe tener las siguientes características:

- La potencia que se tenga a la salida tiene que sobrepasar todas las pérdidas del trayecto.
- La luz debe emitirse en las ventanas de operación de la fibra óptica (850nm, 1300nm, 1550nm).
- La vida útil debe de ser de 10 a 15 años.
- Debe tener un comportamiento estable con la temperatura.

Para poder codificar y transmitir los datos existen dos fuentes de luz: diodo LED y diodo Láser, las características de cada una de ellas se describe a continuación.

a. Diodo Emisor de Luz (LED)

- La longitud de onda con que emite la luz infrarroja esta en el rango de 850nm y 1320nm.
- Se enfoca con lentes en los extremos.
- Usado para fibras multimodo.
- Frecuencia de modulación hasta 50MHz.
- Menor costo.
- Potencia acoplada reducida.
- Vida estimada de 1.000.000 horas.
- Utilizan una corriente de 50 a 100mA.

b. Diodo de Inyección o Diodo Láser (LD)

- Emite una luz intensa infrarroja entre 1310 y 1550nm.
- Usado para fibras monomodo.
- Debido a que el láser se enciende y apaga rápidamente para transmitir 1 y 0, es posible transmitir datos a un elevado número de bits por segundo.
- Frecuencia de modulación hasta 10 GHz.
- Utiliza una corriente de 5 a 40mA.
- Mayor potencia de salida.
- Mayor eficiencia de acoplamiento a la fibra óptica.

2.3.3.2. Receptor

A través del receptor se puede tener la información disponible a ser usada por un computador, switch o router, a través de un cable de cobre, ya que su objetivo es convertir la señal óptica en eléctrica.

La función de un receptor óptico es extraer la información contenida en una portadora óptica que incide en el fotodetector.

Las características que debe tener un receptor óptico son:

- Alta sensibilidad, la corriente inversa debe ser muy pequeña para conseguir detectar señales ópticas débiles.
- Debe tener gran ancho de banda para conseguir rapidez de respuesta.
- Ruido propio bajo.

Los semiconductores usados como receptores son los detectores o fotodiodos positive-intrinsic-negative (PIN) o los Avalanch Photo Diode (APD)

a. Detector PIN

- Intercala una zona de material intrínseco (I) entre la unión P-N para tener mayor eficacia.
- La fabricación de estos fotodiodos es sencilla.
- Genera bajo ruido.
- Gran ancho de banda.
- Proporciona escasa sensibilidad y se utiliza para transmisiones de cortas distancias.

b. Detector APD

- Provee mayor sensibilidad que los fotodiodos PIN.
- Efecto de ganancia con el fenómeno de avalancha.
- Genera mayor ruido por el proceso de avalancha.
- Su costo es elevado.
- Adecuado para velocidades grandes, con fibras monomodo y fuentes laser.

2.3.3.3. Repetidores

Son amplificadores utilizados cuando la señal luminosa se atenúa en el trayecto por desplazarse grandes distancias y al llegar al receptor no se puede diferenciar entre 1 y 0.

2.3.3.4. Conectores

Dispositivo que permite, junto con el adaptador, conectar temporalmente dos o más fibras ópticas entre sí, deben tener gran precisión para evitar atenuación. El adaptador

es un dispositivo mecánico que permite la correcta unión de dos conectores iguales o distintos. Algunos adaptadores que se encuentra en el mercado se muestran en la Fig.15



Fig. 15 Conector ST¹¹

Los conectores se utilizan para unir al transmisor o receptor, por ello debe proveer protección contra humedad, polvo, cambios de temperatura y resistir a tensiones. Las características que distinguen a cada tipo de conector son las técnicas que usen para alinear los núcleos de la fibra óptica.

Los requerimientos básicos de un conector son:

- Tener pérdidas de inserción baja.
- Ser insensible a cambios de temperatura.
- Tener pérdida de retorno alta.
- Poder conectarse y desconectarse hasta 1000 veces sin causar degradación a la transmisión.
- Proveer protección contra humedad y polvo.
- Resistir tensiones.

Los conectores están compuestos por cuatro partes:

Férula.- Es un cilindro que envuelve a la fibra óptica

Cuerpo.- Constituye la base del conector

Ojillo.- Sujeta la fibra al conector

Bota.- Es el mango del conector

Los conectores comercialmente usados se pueden clasificar en tres categorías: conectores estándar o comunes, conectores SFF (Small Form Factor) y los conectores multifibra.

Los conectores comunes tienen una férula de 2.5mm, en esta categoría se encuentran los conectores FC, ST y SC.

- Conector Punta Recta (ST, Straight Tip).- Se usa en redes de edificios y en sistemas de seguridad, frecuentemente en equipos de red en forma multimodo, tiene forma de cuchilla lo cual permite alinear de forma sencilla el conector y adaptador, su mecanismo “Empuja y Gira” garantiza que el conector no sufrirá desconexiones ni deslizamientos.
- Conector Subscriptor (SC Subscriber Conector), su diseño permite conectar fácilmente el conector y adaptador, con su mecanismo “Push Pull” se puede sujetar de forma sencilla al conector, es el conector más utilizado en transmisiones de datos y en telefonía en formato monomodo.
- Conector FC (Fiber Connection), tiene un diseño tipo rosca que asegura de manera firme el conector al adaptador impidiendo deslizamientos o desconexiones.

Los conectores SFF tienen la férula de 1.25mm, ubicándose en esta clasificación los conectores LC y MU.

- Conector LC, su forma es similar al conector SC y su tamaño al RJ-45, puede ser de formato simplex y dúplex, se distinguen entre sí por un código de colores.
- Conector MU, su mecanismo de fijación es de tipo Push Pull, la férula mide 1.25mm y tiene una cubierta de plástico.

Conectores multifibra son los conectores MTRJ y el MTP:

- MTRJ, con este tipo de conector es posible conectar dos fibras al mismo tiempo, los conectores se alinean sencillamente y tiene mecanismo “Push Pull”
- Conector MTP, permite aprovisionar al menos doce conexiones con una sola férula, en reemplazo de hasta un máximo de doce conectores de fibra óptica

En la Fig.16 se ilustra algunos conectores utilizados para la fibra óptica.

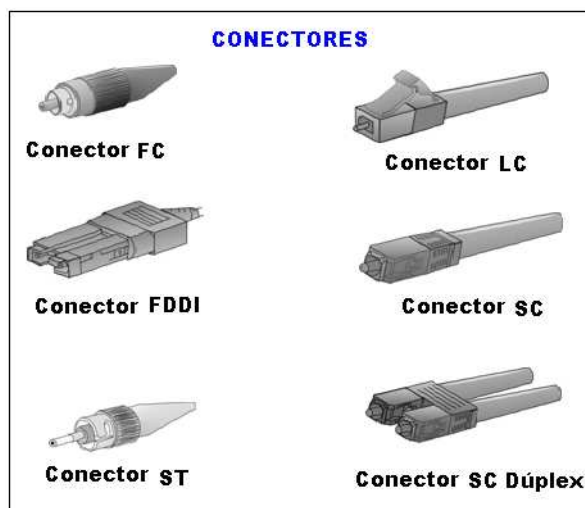


Fig. 16 Conector SC¹²

2.3.3.5. Empalmes

Permiten conexiones permanentes de las fibras uniendo sus núcleos y brindando continuidad en la fibra, tienen menor atenuación que los conectores y son apropiados para conexiones en planta externa. Si los núcleos no se unen uniformemente, la luz que sale de un núcleo no incide en el otro núcleo y se pierde, los empalmes en la fibra óptica monomodo son más complicados, ya que el diámetro del núcleo es más pequeño y requiere equipos y mecanismos de alineamiento que proporcionen mayor precisión.

Los empalmes pueden ser por fusión y mecánicos.

En los empalmes mecánicos la fibra queda unida por “elementos de sujeción mecánica”¹³, se producen mayores pérdidas y se utiliza en sitios donde su desmontaje se realiza frecuentemente.

Los empalmes de fusión se obtienen fundiendo las dos fibras utilizando una fuente de calor, no existe otro material en la zona del empalme por lo que proporciona alta fiabilidad y reducidas pérdidas por reflexión.

En un empalme mecánico se producen mayores pérdidas que en un empalme por fusión provocando pérdidas en el orden de 0.5dB, por ello, los empalmes por fusión son ideales para enlaces de cables largos y continuos, tienen alta confiabilidad y su valor es menor a 0.1dB.

2.3.3.6. Ventajas de la fibra óptica

- **Inmunidad al ruido:** Debido a que usa haces de luz para la transmisión en sustitución de las señales eléctricas, la fibra óptica puede pasar por zonas de alta tensión sin inducir interferencia.
- **Menor atenuación de la señal:** La distancia de transmisión de la fibra óptica supera a cualquier otro medio guiado.

- **Mayor Ancho de Banda:** Brinda mayor ancho de banda que un cable coaxial o par trenzado. El ancho de banda no está limitado por el medio, sino por la tecnología disponible de generación y recepción de la señal. Se puede manejar valores desde cientos de MHz hasta decenas de GHz.
- **Facilidad de localización de cortes:** Gracias a un proceso basado en telemetría, se puede detectar rápidamente el lugar del daño.
- **Seguridad:** No se puede utilizar acopladores para monitorear la información.

2.3.3.7. Desventajas de la fibra óptica

- **Costo:** El cable de fibra óptica es costoso, no obstante actualmente este casi ya no es inconveniente, pues su costo es más reducido.
- **Conexiones:** Se necesita de personal calificado para este trabajo ya que la fibra óptica debe estar perfectamente alineada, cualquier grieta o rozadura del núcleo disminuirá la luz y la señal se verá afectada.
- **Fragilidad:** Se rompe con facilidad.
- **Personal:** Se requiere de personal calificado para realizar las reparaciones y mantenimiento del sistema óptico.

2.3.3. Tendido de la fibra óptica

La fibra óptica puede ser tendida de tres diferentes maneras, aérea, subterránea y submarina, a continuación se explica brevemente sobre cada una.

2.3.3.1. Tendido subterráneo.- Es más común para enlaces rurales y urbanos, puede realizarse por zanjas o por medio de túneles guiados.

2.3.3.2. Tendido aéreo.- La instalación aérea de la fibra óptica es más común en las redes de alta tensión, la instalación aérea puede ser en el cable de

guarda (OPGW) ó instalación de cable auto soportado totalmente dieléctrico (ADSS); esta instalación tiene menor costo por la ausencia de obra civil y los derechos de paso. El cable ADSS es adecuado para largas distancias, es fácil de instalar, es inmune a las interferencias de las redes eléctricas y no contiene elementos metálicos. El cable OPGW está compuesto por una parte óptica y una metálica. La parte óptica contiene a las fibras ópticas y elementos de protección, constituida por fibra óptica y elementos de protección y cableado encargado de realizar el enlace para las telecomunicaciones, la parte metálica efectúa la función de cable de tierra de la línea aérea de alta tensión.

2.3.3.3. Tendido submarino.- La fibra óptica se encuentra tendida en los océanos frente a las costas continentales de algunos países los cuales pueden acceder en ciertos porcentajes para la salida al mundo, tiene menor latencia y mayor ancho de banda que un enlace satelital. En el tendido submarino se utiliza amplificadores que son empalmados cada 30 o 50 Km.

2.3.4. Tendencia de las comunicaciones.

Las comunicaciones tienen actualmente tendencia a la integración de las redes, es decir, se pretende empaquetar los servicios y contenidos audiovisuales. Esta tendencia se denomina Triple Play, que es la comercialización de los servicios telefónicos de voz, acceso al ancho de banda y servicios audiovisuales (video), lo que diferencia a esta nueva prestación es que brinda todos estos servicios por un mismo soporte físico, resumidamente, es un salto tecnológico que permite compartir eficazmente los datos, la voz y el video.

La transmisión se basa en datagramas IP para todos los servicios, la transmisión de la voz se logra con la tecnología Voz sobre IP o VoIP, donde se convierte la voz en

paquetes de datos los cuales viajan por redes IP multiservicio. Para mejor comprensión se describe brevemente el funcionamiento de VoIP.

2.3.4.1. VoIP

Proviene de las siglas Voice Over Internet Protocol, (Voz sobre Protocolo de Internet).

Es un método con el cual es posible enviar por internet las señales de audio analógicas a una dirección IP determinada, previamente convertidas en datos digitales, con esta tecnología se pueden unir la transmisión de datos con la transmisión de la voz, el servicio para esta tecnología se denomina Telefonía IP.

2.3.4.2. Tecnología MPLS

Es una arquitectura de red cuyas siglas significa MultiProtocol Label Switching. Su objetivo inicial fue proveer características de redes orientadas a conexión a redes no orientadas a conexión, permitiendo entregar todo tipo de servicios sobre una misma red.

2.3.4.2.1. Concepto

Es un mecanismo de transporte de datos creado para compensar soluciones de conmutación multinivel, opera entre las capas de enlace de datos y la capa de red del modelo OSI, unifica el servicio de transporte de datos para las redes basadas en circuitos y las basadas en paquetes y proporciona circuitos virtuales en redes IP.

2.3.4.2.2. Características de MPLS

MPLS tiene particularidades especiales como aportar a la red ingeniería de tráfico, igual que IP sobre ATM, la red tiene un diseño más sencillo, por ello la operación es más simple también, su diseño le permite operar sobre cualquier tecnología en el nivel de enlace, proporcionando mayor escalabilidad y facilitando la migración a redes ópticas basadas en SDH/SONET y DWDM.

MPLS combina ventajas del encaminamiento inteligente y escalabilidad de ruteo de nivel 3 con la rápida conmutación de nivel 2, manejando la conmutación de paquetes por una pequeña etiqueta de longitud fija con lo que se logra mayor rendimiento en el transporte de paquetes IP. Esta etiqueta se asigna al paquete apoyándose en su dirección de destino, los parámetros de tipo de servicio, la pertenencia a una red privada virtual, o siguiendo otro criterio.

MPLS comprende IPv4 e IPv6 sobre tecnologías como Gigabit Ethernet, ATM y Frame Relay (orientadas a conmutación de paquetes). Los caminos de tráfico (LSP- Label Switch Path) son establecidos con los mismos protocolos de señalización y distribución de etiquetas (LDP- Label Distribution Protocol). Los dispositivos que incorporan el software de control MPLS se denominan LSR (Label Switching Routers) e intercambian información sobre la topología de la red mediante protocolos de encaminamiento, en base a ello construyen tablas de encaminamiento mediante las cuales se establecen los caminos de tráfico que los paquetes deberán seguir. Es por ello que MPLS permite realizar Ingeniería de Tráfico (TE), cursar tráfico con diferentes calidades de clases de servicios (CoS) o grados de calidad de servicio (QoS) y crear redes privadas virtuales (VPN) basadas en IP.

Para entender de mejor manera los beneficios que brinda MPLS se describen, brevemente, definiciones y características de ingeniería de tráfico, calidad de servicio, clases de servicio y de VPN.

2.3.4.2.3. Ingeniería De Tráfico

La ingeniería de tráfico tiene como fin elegir el camino que seguirán los datos para tener un balance de la carga del tráfico, evitando que un tramo de la red se sature mientras que otro tramo se encuentra poco utilizado, descartando posibles cuellos de botella en la red.

En Ingeniería de tráfico MPLS, los flujos de tráfico seleccionados por un protocolo interno (IGP, protocolo de internet usado para intercambiar información de enrutamiento dentro de un sistema autónomo) son trasladados de un sistema congestionado a uno menos congestionado aunque ésta no sea la ruta menos corta, se puede hacer directamente sobre redes IP de forma flexible y con costos reducidos de planificación y gestión.

2.3.4.2.4. Clases de Servicios CoS

Gracias al modelo DiffServ de IETF (Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet), MPLS está equipado para cursar diferentes clases de servicio con diferentes prioridades, empleando un campo denominado ToS (Type of Service), el cual fue renombrado por DiffServ como un octeto DS

Se definen cinco clases de servicios:

1. **Video.**- Tiene nivel de prioridad más alto, incluso más que los datos.
2. **Voz.**- El nivel de prioridad es equivalente al de video.
3. **Datos de alta prioridad D1.**- Para aplicaciones que son críticas referentes a necesidades de rendimiento, disponibilidad y ancho de banda.
4. **Datos de prioridad D2.**- Para aplicaciones no críticas y requisitos particulares respecto al ancho de banda.
5. **Datos no prioritarios D3.**- Tiene la prioridad más baja.

Las etiquetas MPLS contienen un parámetro denominado EXP el cual permite trasladar la clase de servicio al correspondiente LSP, MPLS puede transportar distintas clases de servicio debido a que el tráfico de un LSP puede ser asignado a distintas colas de salida de acuerdo al contenido del EXP, además, entre cada par de LSR se puede suministrar varios LSP, cada uno con diferentes atributos y garantías de ancho de banda.

2.3.4.2.5. Calidad de servicio

La calidad de servicio es una prioridad de las redes actuales pues permite alcanzar precios más accesibles, se puede definir como la capacidad de la red de asumir el tráfico de aplicaciones sensibles a retardos en su circulación, que necesitan un ancho de banda determinado y otros factores de flujo.

2.3.4.2.6. VPN

Es una red privada que se crea dentro de otra red de recursos de carácter público, puede ser internet, ampliándose a distintos puntos remotos, usando encriptación y encapsulación para asegurar la confidencialidad e integridad de la entrega de la información a través de esta red. Los datos entre los dos extremos de la red privada viajan por un “túnel” virtual definido en la red pública.

“La tecnología de túneles (Tunneling) es un modo de envío de datos en el que se encapsula un tipo de paquetes de datos dentro del paquete de datos propio de algún protocolo de comunicaciones, y al llegar a su destino, el paquete original es desempaquetado volviendo así a su estado original”¹⁴.

2.3.4.3. Tecnología DWDM

Multiplexación por División de Longitud de onda Densa, es una tecnología que efectúa funciones de amplificación, encaminamiento, extracción e inserción de señales, todo en el dominio óptico, brinda transparencia respecto a las señales que transporta, gran ancho de banda y soporta grandes distancias sin requerir que la señal se regenere al dominio eléctrico.

DWDM se deriva de la tecnología WDM, la cual inició a finales de la década de 1980 usando las dos longitudes de onda muy espaciadas, 1310 nm y 1550 nm, en ocasiones llamado WDM de banda ancha.

La especificación UIT-T G.694.1 contiene la rejilla de frecuencias para DWDM, el espaciamiento de canales es de 100 GHz y 50GHz, para lograr la interoperabilidad de los equipos de distintos fabricantes, así el usuario puede optar por las frecuencias descritas dentro de esta rejilla. Para tener una rejilla de espaciamiento de 200 GHz, solo se debe tomar las frecuencias pares o impares, igualmente, si se pretende tener un espaciamiento de 400 GHz, se toma una frecuencia cada cuatro de la rejilla. La rejilla de 100 GHz es apropiada para sistemas de 16 a 40 canales, la de 200 GHz, para sistemas de 8 a 16 canales, y la de 400 GHz, para sistemas de 2 o 4 canales.

2.3.4.3.1. Parámetros de transmisión en sistemas DWDM

Los parámetros principales de los sistemas DWDM son:

- **Espaciamiento de canales.-** Como ya se especificó anteriormente, el espaciamiento entre canales puede ser de 100GHz o de 50GHz, según las especificaciones de la UIT-T G.694.1. Cuanto menor sea el espaciamiento entre canales, mayor será la diafonía y se limita la máxima velocidad de datos por longitud de onda que se pretende transmitir.
- **Dirección de la señal.-** Los sistemas DWDM pueden ser implementados de dos formas:

- a. **Unidireccional:** Todas las longitudes de onda viajan en una misma dirección en la fibra, se requieren dos fibras para la transmisión en ambos sentidos.
 - b. **Bidireccional:** El canal es subdividido en dos lambdas, una para cada dirección, esto elimina la necesidad de otra fibra pero reduce la capacidad de ancho de banda a transmitir.
- **Ancho de banda de la señal.-** Con sistemas DWDM se puede transmitir señales ópticas con grandes anchos de banda. Los sistemas DWDM generalmente tienen una velocidad de 10 Gbps y multiplexan 240 canales proporcionando un ancho de banda de 2.4Tbps, los sistemas que actualmente están en desarrollo tienen capacidad de transmisión a velocidades de 40Gbps multiplexando 300 canales con un ancho de banda de 12Tbps. Lo que restringe transmitir con esos anchos de banda, es la capacidad que tengan los equipos de conmutación.
 - **Potencia de la señal.-** La potencia decrece exponencialmente con la distancia, la potencia de entrada la suministra el laser emisor, mientras que la potencia de salida es el resultado de varios procesos, como, atenuación, dispersión, amplificación, etc.
 - **Codificación.-** Las señales eléctricas que transportan las portadoras se codifican en el momento de convertirlas en señales ópticas para transmitir las. Las codificaciones en dominio óptico que se utilizan con mayor frecuencia son No Retorno a Cero (NRZ) y retorno a cero (RZ)
 - **Tasa de bit errado BER.-** Se refiere al número de bits errados en un total de bits transmitidos, el valor típico es de 10^{-12} en sistemas SONET y de 10^{-15} en sistemas DWDM de larga distancia.
 - **Relación señal a ruido óptico (OSNR).-** El ruido se presenta en sistemas ópticos que incluyen procesos de amplificación, especifica la razón entre la potencia neta de la señal P_s (dB) y la potencia neta de ruido P_n (dB)

$$OSNR = 10 \log \frac{P_s}{P_n}$$

2.3.4.3.2. Componentes de un sistema DWDM

Un sistema DWDM consta principalmente de cinco componentes: Transponder, Multiplexor y Demultiplexor, Amplificador óptico, fibra óptica y receptor.

- **Transductor.-** Cambia las señales eléctricas (bits) a un formato óptico, para este fin se usa el láser como fuente de luz, pues emite haces de luz a una misma fase y frecuencia.
- **Multiplexor y Demultiplexor.-** El multiplexor óptico combina todas las longitudes de onda, las mismas que representan un canal y llevan su propia información, para enviarlas simultáneamente por la fibra óptica, el demultiplexor realiza las funciones contraria al multiplexor. Estos procesos introducen pérdidas en el sistema.
- **Amplificador óptico.-** Regeneran la señal cuando se ha sobrepasado la longitud de la fibra óptica, la longitud se encuentra limitada por parámetros como la atenuación, además permiten amplificar todas las longitudes de onda simultáneamente y sin necesidad de conversión óptica-eléctrica-óptica, e incrementar la potencia de la señal antes de la demultiplexación o después de la multiplexación.
Los amplificadores ópticos más usados son el EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) y el RFA (Raman Fiber Amplifier); los parámetros primordiales en un amplificador son: la ganancia que típicamente es mayor o igual a 30dB, el nivel de ruido y la potencia de salida cuyo valor típico es de +17dB o más.
- **Fibra óptica.-** Provee el medio físico para el transporte, según las recomendaciones para DWDM, las fibras ópticas permitidas son:
 - NDSF.- Fibra óptica de dispersión no desplazada. UIT-T G.652.
 - DSF.- Fibra óptica de dispersión desplazada. UIT-T G.653.
 - NZDSF.- Fibra óptica de dispersión desplazada no nula. UIT-T G.655.

- **Receptor.**- Detecta pulsos ópticos y los convierte en eléctricos (bits), son más complejos pues trabajan a todas las velocidades de bit y protocolos especificadas, los detectores ópticos más usados en los receptores son los diodos PIN o ADP.

Además, en un sistema DWDM podemos encontrar:

- **OADM** (Optical Add/Drop Multiplexer).- Multiplexores ópticos de inserción/extracción, remueve o inserta una o más longitudes de onda en un punto del enlace, ya que en sistema DWDM existen áreas donde hay varias longitudes de onda.
- **OXC** (Optical Cross Connector).- Conmutador matricial de fibras ópticas de dimensión $N \times M$, donde N es el número de fibras de entrada que conmuta a M fibras de salida, todo en nivel óptico, no requiere de conversiones opto-electrónica o electro-óptica, su función es conmutar longitudes de onda a gran velocidad de una fibra a otra en base a la necesidad de tráfico.

2.3.4.3.3. Topologías en los sistemas DWDM

Podemos tener las siguientes topologías:

- **Punto a punto.**- Para enlaces entre grandes centros empresariales se requiere únicamente convertir el tráfico en longitudes de onda específica y su multiplexación, no es indispensable instalar OADMs. Poseen gran velocidad de canal y alta fiabilidad y entereza de la señal.
- **Anillo.**- Más frecuente en redes metropolitanas, puede ser implementado con uno o más sistemas DWDM, soporta todo tipo de tráfico, puede estar compuesto de un concentrador y uno o más OADM. El nodo concentrador

proporciona conectividad a redes ya implantadas, aquí, el tráfico se origina, finaliza y se controla. Las longitudes de onda seleccionadas son añadidas o extraídas en los nodos OADM. Con esta topología el sistema puede aprovisionar acceso a elementos de red como, ruteadores, conmutadores o servidores, pero mientras el número de OADM se acrecienta, las pérdidas también aumentan y se puede requerir amplificar la señal.

- **Malladas.**- Esta topología tendrá mayor auge al paso del tiempo, porque presenta mayor robustez que las topologías anteriores.

2.3.5. Sistema de transmisión inalámbrico

2.3.5.1. Propagación de las ondas electromagnéticas.

Las ondas electromagnéticas son un factor importante para que las radiocomunicaciones sean posibles.

2.3.5.1.1. Definición de Ondas Electromagnéticas

“Una onda se puede definir como un disturbio o irregularidad transitoria la cual se mueve en el espacio”¹⁵.

Las ondas electromagnéticas se propagan por un medio eléctrico o magnético, moviendo estos campos y dando origen a la propagación en el espacio libre.

2.3.5.1.2. Características de las Ondas Electromagnéticas

- a. Forma.**- Cada onda electromagnética tiene una forma visible y característica que las diferencian una de otra. Ejemplo, ondas curvas o sinusoidales, en las cuales la cumbre de la onda se denomina cresta y el punto más bajo valle.

- b. Amplitud.**- La amplitud se refiere a la distancia que existe entre la “cima de la cresta y el fondo del valle”¹⁵.
- c. Longitud.**- “Distancia entre cresta y cresta o entre valle y valle”¹⁵.
- d. Velocidad.**- Para fines prácticos, la velocidad de propagación de la onda electromagnética se establece en $3 \cdot 10^8$ m/seg.
- e. Frecuencia.**- Es la cantidad de crestas o valles que se deslizan por un punto en un segundo.
- f. Polarización.**- Es la alineación respecto al suelo que tiene el campo eléctrico, la polarización puede ser horizontal o vertical.

La relación matemática que se establece entre la velocidad, frecuencia y la longitud es la siguiente:

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

Donde:

f = frecuencia (Hz)

v = velocidad ($3 \cdot 10^8$ m/seg)

λ = longitud de onda (m)

2.3.5.1.3. Espectro electromagnético

El espectro electromagnético se clasifica respecto a la frecuencia, como se observa en la Fig. 17 cada banda de frecuencia tiene una denominación, aplicación y un rango de longitud de onda específico.

Nombre	Abreviatura Inglesa	Banda ITU	Frecuencias	Longitud de onda
			Inferior a 3 Hz	> 100.000 km
Extra baja frecuencia Extremely low frequency	ELF	1	3-30 Hz	100.000 km – 10.000 km
Súper baja frecuencia Super low frequency	SLF	2	30-300 Hz	10.000 km – 1000 km
Ultra baja frecuencia Ultra low frequency	ULF	3	300–3000 Hz	1000 km – 100 km
Muy baja frecuencia Very low frequency	VLF	4	3–30 kHz	100 km – 10 km
Baja frecuencia Low frequency	LF	5	30–300 kHz	10 km – 1 km
Media frecuencia Medium frequency	MF	6	300–3000 kHz	1 km – 100 m
Alta frecuencia High frequency	HF	7	3–30 MHz	100 m – 10 m
Muy alta frecuencia Very high frequency	VHF	8	30–300 MHz	10 m – 1 m
Ultra alta frecuencia Ultra high frequency	UHF	9	300–3000 MHz	1 m – 100 mm
Súper alta frecuencia Super high frequency	SHF	10	3-30 GHz	100 mm – 10 mm
Extra alta frecuencia Extremely high frequency	EHF	11	30-300 GHz	10 mm – 1 mm
			> 300 GHz	< 1 mm

Fig. 17 Espectro de radiofrecuencias⁴

2.3.5.1.4. Estructura de la atmosfera

Para la propagación de las ondas electromagnéticas se distinguen tres zonas, como se observa en la Fig. 18.

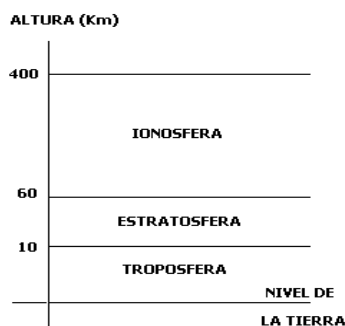


Fig. 18 Estructura de la Atmósfera¹⁶

2.3.5.1.4.1. Troposfera

Esta capa tiene contacto con el suelo, existen moléculas gaseosas y tiene constante dieléctrica superior a la unidad. En esta zona se propagan las ondas electromagnéticas pero pueden ser alteradas o modificadas por la influencia de las capas de aire.

La altura a la que se encuentra es de 0 a 10Km sobre el nivel de la Tierra.

2.3.5.1.4.2. Estratosfera

Esta región se caracteriza por tener presión atmosférica pequeña que varía de forma lineal, en esta región la temperatura varia drásticamente con la hora del día y no existe humedad. Se encuentra a una altura de 10 a 60Km sobre el nivel de la Tierra. Como indica la Fig. 19, esta zona tiene dos subdivisiones, alta estratósfera y ozonosfera, sus características se especifican en la figura.

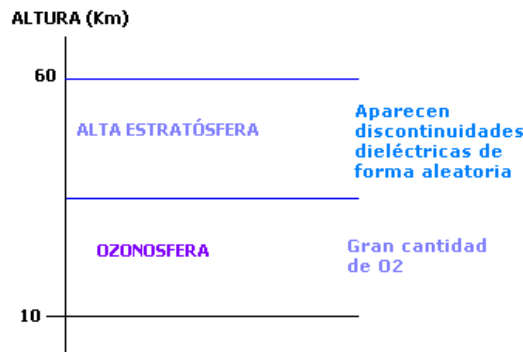


Fig. 19 Estratósfera¹⁶

2.3.5.1.4.3. Ionosfera

Es un conjunto de zonas en las que el aire se encuentra ionizado.

Como se puede observar en la Fig. 20, se subdivide en cuatro capas representadas como D, E, F1 y F2.

Las capas F1 y F2 existen en el día, en la noche se unen y forman la capa F.

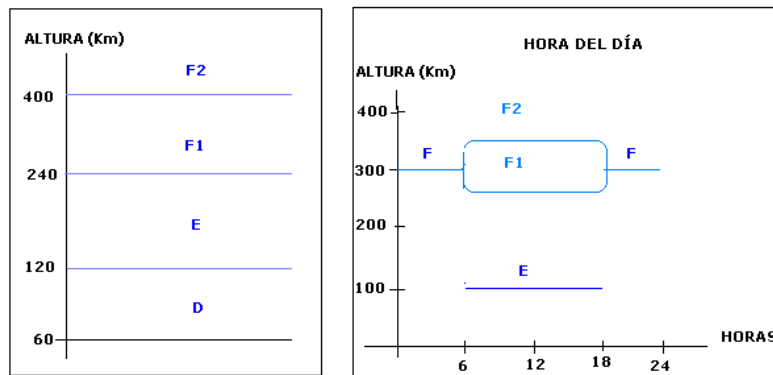


Fig. 20 Capas de la Ionósfera y formación de la capa F¹⁶

2.3.5.1.5. Propagación de una onda electromagnética por el espacio libre

La propagación de las ondas por el espacio libre se refiere a la difusión de las ondas por la atmosfera terrestre, a diferencia de la propagación por el vacio, la Tierra introduce pérdidas de la señal, de manera que la intensidad de la señal recibida suele ser menor de la que se espera.

Las ondas electromagnéticas en el espacio libre se dispersan, por lo que se reduce la densidad de potencia, denominando a ésta pérdida como atenuación. La atmosfera terrestre contiene partículas que absorben energía electromagnética, lo cual produce pérdidas por absorción.

2.3.5.1.5.1. Formas de propagación de las ondas dentro de la atmosfera

Las ondas electromagnéticas pueden propagarse dentro de la atmosfera de tres formas que corresponden a las ondas terrestres, espaciales y celestes o ionosféricas.

a. Propagación de ondas terrestre

Esta propagación corresponde a las ondas que viajan por la superficie de la Tierra o muy cerca de ella.

Se usan en comunicaciones de barco a barco y de barco a tierra, en radionavegación y comunicaciones marítimas. Se usan a frecuencias bajas, la mejor cobertura que proporcionan las ondas terrestres son a frecuencias de 1.5 MHz.

b. Propagación de ondas espaciales

“Se proyectan desde la antena hacia el firmamento sin llegar a las proximidades de la superficie”¹⁵.

Esta propagación incluye energía irradiada en los kilómetros inferiores a la atmósfera terrestre, contiene las ondas directas y las reflejadas en el suelo.

- **Ondas directas.**- Son aquellas que viajan en línea recta desde la antena transmisora a la receptora, se denomina también transmisión de línea de vista (LOS), esta propagación está limitada por la curvatura de la Tierra, la cual presenta un horizonte en la propagación de las ondas espaciales llamada horizonte de radio, este horizonte se encuentra cuatro tercios más lejos que el horizonte óptico.
- **Ondas reflejadas.**- Como indica su nombre la onda electromagnética se irradia “Sobre la superficie de la Tierra u obstáculos importantes en su camino”¹⁵.

c. Propagación de las ondas celestes o ionosféricas

Son aquellas que se transmiten por encima del horizonte, las ondas se envían al cielo donde son reflejadas o refractadas nuevamente a la Tierra por la Ionósfera.

2.3.5.1.5.2. Propiedades de las ondas de radio

La propagación de las ondas en la atmósfera terrestre puede diferir a la del espacio libre debido a efectos ópticos, como: reflexión, refracción, interferencia y difracción.

- a. **Reflexión.**- La reflexión es el choque de una onda electromagnética con la frontera entre dos medios, provocando que parte, o la totalidad de la potencia de la onda no se propague en el medio, ya que es reflejada en dirección opuesta al segundo medio.

- b. **Refracción.**- La refracción es un fenómeno que se produce cuando los rayos provenientes de la Tierra llegan a la Ionosfera, aquí revotan y retornan a la corteza terrestre agregándose gran cantidad de ruido.
Es el cambio de dirección de un rayo al pasar en dirección transversal de un medio a otro con velocidad distinta a la propagación.

- c. **Difracción.**- Es la curvatura que sufren las ondas al rozar un obstáculo o la superficie de la Tierra durante el trayecto.

- d. **Interferencia.**- Se produce cuando dos o más ondas electromagnéticas se combinan, degradando el funcionamiento del sistema.

2.3.5.1.5.3. Zonas de Fresnell

Es una zona formada por la energía que la antena transmisora emite hacia la antena receptora. Un factor importante para graficar la zona de Fresnel es la longitud de onda, por ello es importante definir la frecuencia de trabajo, a mayor frecuencia la longitud de onda es menor, las zonas de Fresnel están separadas $\lambda/2$, por ende, a mayor frecuencia el radio de la zona de Fresnel es menor.

El radio de cualquier zona de Fresnell en un punto cualquiera en la trayectoria de transmisión se encuentra con la formula:

$$r_n = \sqrt{n \frac{d_1 \times d_2 \times \lambda}{d}}$$

Donde:

n = número de la zona de Fresnell.

d1 = Distancia del tx al punto.

d2 = Distancia del rx al punto.

d = Distancia total entre tx y rx.

λ = Longitud de onda

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

“Es la radiación electromagnética sobre una línea recta en la atmosfera o una atmosfera ideal, siendo removidos todos los obstáculos que pudieran afectar dicha onda de cualquier manera”¹⁵.

Si la zona de Fresnell se encuentra despejada por lo menos 0.6 y el índice de refracción es menor o igual a 0.2 se considera propagación en el espacio libre. Para ello se necesita el perfil del terreno entre las estaciones y el cálculo de las pérdidas en el espacio libre.

2.3.5.1.5.4. Modelo de propagación en el espacio libre

Este modelo se utiliza para predecir la señal directa recibida cuando entre el transmisor y receptor tienen línea de vista libre.

El modelo predice que la potencia recibida decrece a medida que la separación entre las antenas transmisora y receptora aumenta.

La potencia en recepción se puede calcular con la expresión:

$$P_{rx}(dBm) = P_{tx}(dB) + G_{tx}(dB) + G_{rx}(dB) - 2.44 - 20 \log F (MHz) - 20 \log d (Km)$$

Donde:

P_{rx} , P_{tx} = Potencia en las terminales de la antena receptora y transmisora.

G_{rx} , G_{tx} = Ganancia de potencia de las antenas receptora y transmisora.

d = Distancia entre las antenas.

F = Frecuencia de trabajo.

Como ya se estudió, en el espacio libre las ondas electromagnéticas sufren modificaciones o distorsiones hasta llegar al receptor, estas pérdidas se conocen como atenuación por espacio libre.

La atenuación por el espacio libre se calcula con la formula:

$$\alpha_e (dB) = 20 \log D (Km) + 20 \log F (MHz) + 32.44$$

Donde:

D = distancia en Km

F = frecuencia en MHz

Las pérdidas totales ocasionadas en el sistema se calculan:

$$L_T = \alpha_e + L_{ab} + L_r$$

Donde:

α_e = Pérdidas en el espacio libre

L_{ab} = Pérdidas por absorción

L_r = Pérdidas por reflexión.

2.3.5.2. Comunicaciones inalámbricas y radioenlaces

Actualmente las transmisiones inalámbricas son una herramienta eficaz que permite la transferencia de voz, datos y video, sin necesidad de cableado para la conexión, esta transmisión se logra mediante la emisión de ondas de radio las cuales brindan flexibilidad y movilidad a un sistema de comunicación.

Con un enlace radioeléctrico se puede proporcionar conectividad a dos sitios o estaciones terrestres que se encuentren alejadas pero tengan línea de vista, esto se logra usando equipos de radio con frecuencias superiores a 1GHz, las ondas pueden ser emitidas de forma analógica o digital.

Las ondas electromagnéticas, cuya frecuencia se encuentra en el rango de las súper altas frecuencias SHF, se conocen como microondas, las frecuencias que se utilizan en microondas para conectar estaciones distantes entre 1 y 25 kilómetros están en el rango de los 12, 18 y 23 GHz, mientras que las usadas para enlazar sitios separados entre 30 y 50 kilómetros se encuentran en el rango entre los 2 y 6 GHz

Aunque la capacidad máxima depende mucho de la frecuencia, las velocidades de datos habituales para un único rango de frecuencia oscilan entre 1 y 10 Mbps, sin embargo en la actualidad se pueden conseguir capacidades más altas, hasta de 140 Mbps.

2.3.5.2.1. Estructura general de un radioenlace

Un radioenlace está formado por equipos terminales y repetidores intermedios, los repetidores ayudan a recompensar la falta de visibilidad por efectos de la curvatura terrestre, la separación entre repetidores se conoce como vano.

Los repetidores pueden ser activos o pasivos; los repetidores pasivos no tienen ganancia, solo cambian la dirección del haz radioeléctrico.

2.3.5.2.2. Ventajas y desventajas de los enlaces de microondas

a. Ventajas

- Mas económicos que unir con cable estaciones separadas gran distancia.
- La instalación es sencilla y rápida.
- Puede superar las irregularidades del terreno.
- La separación de los repetidores puede ser mayor si se aumenta la altura de las torres.

b. Desventajas

- Necesita que exista línea de vista entre las estaciones terrestres.
- Un gran inconveniente en el momento de un enlace radioeléctrico es las condiciones climáticas existentes, pues pueden ocasionar desvanecimientos y desviaciones del haz.

2.3.5.3. Tecnología Spread Spectrum

También conocida como Espectro Expandido o ensanchado, es una tecnología que, inicialmente, se utilizaba solo en fines militares, debido al costo que implicaba, actualmente, tiene gran uso comercial, por lo que su costo ya no es un problema pues permite trabajar en bandas de frecuencia no licenciadas. Esta tecnología ha tenido gran auge porque presenta excelentes propiedades en cuanto a inmunidad a interferencias además posibilidad de encriptación.

La señal que se transmite es propagada en una banda de frecuencia amplia, mucho más que el mínimo ancho de banda requerido para la transmisión de la información.

En el transmisor se modula la señal portadora con la señal en banda base de manera convencional, el ensanchamiento se obtiene mediante una segunda modulación entre la señal producto de la primera modulación y una señal pseudoaleatoria (secuencia de pseudo-ruido, aparenta ser ruido y es la que se usa para ensanchar el espectro de la señal que se transmite), esta señal es independiente de la señal a transmitir y tiene una frecuencia superior a la frecuencia de los datos, por lo que la información se expande en un ancho de banda mayor, logrando minimizar interferencias y dificultar la interceptación de las señales. La recepción se realiza mediante un proceso de correlación, el cual consiste en la suma de la señal recibida con una señal local, replica de la señal usada para la transmisión.

Una vez que se ha ensanchado la señal del espectro pueden coexistir con señales en banda estrecha ya que solo aportan con incremento mínimo de ruido, en cuanto al receptor, no ve las señales de espectro estrecho.

2.3.5.3.1. Técnicas de Spread Spectrum

Las técnicas de espectro ensanchado se utilizan en gran variedad de aplicaciones, incluyendo inmunidad al ruido, comunicaciones seguras y acceso múltiple al medio, estas técnicas son:

a. FHSS Frequency Hopping Spread Spectrum

Espectro ensanchado por salto de frecuencia, la base de esta técnica es que la frecuencia varía con el tiempo de acuerdo a secuencia de códigos preestablecidos. La señal se emite sobre una serie de radiofrecuencias fortuitas saltando, sincrónicamente con el transmisor, de frecuencia en frecuencia, de este modo, receptores no autorizados solo escucharán señales incoherentes, interceptando, si lo logra, solo pocos bits.

FHSS utiliza 79 canales de frecuencia de banda angosta de 1MHz de ancho de banda cada uno, estos canales se seleccionan de una secuencia pseudo aleatoria, a una tasa de 1600 saltos por segundo,

b. DSSS Direct Sequence Spread Spectrum

Es la más utilizada, la multiplicación de la secuencia de bit original por una secuencia digital de velocidad mayor. Un número de canal es ocupado por la señal FH, el ancho de banda del canal es el mismo que el de la señal de entrada.

La señal salta de frecuencia en frecuencia en intervalos fijos, el transmisor opera en un único canal a la vez, los bits se transmiten usando un tipo de codificación.

La señal es difundida en serie de frecuencias de radio aleatorias.

Se basa en desplazar la fase de una portadora mediante una secuencia rápida de bits, diseñada de forma que aparezcan el mismo número de ceros y unos, solo el receptor al que le fue enviado el código será capaz de reconstruir la señal enviada. Para transmitir, se sustituye cada bit de datos por una secuencia de 11 bits, aun cuando la señal es afectada por interferencias, el receptor puede reconstruir la información a partir de la señal recibida. Con CDMA se puede tener tasas de transferencia desde 1 a 11Mbps, pero se tiene el inconveniente que no permite la transmisión simultánea de varios usuarios con la misma frecuencia, por lo que se puede usar tres canales de frecuencia diferentes de 22Mhz de ancho de banda, es por ello que solo se utiliza en redes inalámbricas de área local.

c. THSS Time Hopping Spread Spectrum

Cambia el rango de transmisión dentro de una trama temporal, el periodo y el ciclo de un portador de pulso RF varían de manera pseudoaleatoria.

d. Modulación Híbrida

Utiliza las características importantes de las modulaciones anteriores, de esta manera no se restringe al uso de las características importantes de un solo tipo de modulación, sino se combinan las ventajas de dos tipos de modulación.

2.3.5.3.2. Topologías que utilizan Spread Spectrum

Las topologías que usan esta tecnología son:

- a. **INDOOR.**- Aplicaciones dentro de edificios, en oficinas, su radio de cobertura es menor a 200 metros, como ejemplo una red inalámbrica de área local (WLAN)
- b. **OUTDOOR.**- Enlaces de largo alcance, como enlaces de datos punto a punto, punto multipunto, servicio de internet inalámbrica.

2.3.5.3.3. Ventajas de Spread Spectrum

Las principales ventajas del espectro ensanchado son:

- Las señales que se transmiten son difíciles de interceptar, receptores que transmiten en diferente secuencia a la que fue usada por el receptor solo escucharán un incremento de ruido.
- Las señales son resistentes a ruido e interferencias.
- Transmisiones en espectro ensanchado pueden compartir ancho de banda con diferentes tipos de transmisores convencionales con un mínimo de interferencia.

2.4. Corporación Nacional de Electricidad regional Santo Domingo.

2.4.1. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER)

El MEER es una división del antes denominado Ministerio de Energía y Minas, división llevada a cabo bajo Decreto N°. 475 del 9 de Julio del 2007. La misión de esta nueva entidad es servir a la sociedad ecuatoriana mediante la formulación de la política nacional del sector eléctrico y regulación de proyectos, uno de sus objetivos es fortalecer y transformar las entidades estatales de energía.

2.4.2. Organismo regulador del Sector Eléctrico Nacional

El Consejo Nacional de Electricidad CONELEC es el organismo cuya misión es controlar y regular la generación, transmisión y distribución del servicio público de energía eléctrica.

CONELEC creó dos nuevas entidades de energía eléctrica, una exclusiva de distribución y otra de generación y transmisión.

La empresa eléctrica encargada de la distribución de energía eléctrica se denomina Corporación Nacional de Electricidad (CNEL), mientras que la empresa encargada de la generación y distribución de energía eléctrica se denomina Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC).

2.4.3. Corporación Nacional de Electricidad

Como ya se mencionó anteriormente CNEL es una entidad de reciente creación, exclusiva de distribución de energía eléctrica, formada por diez empresas distribuidoras del país, ocho de la región Costa, una de Sucumbíos y una de Bolívar, la sede se encuentra actualmente en la ciudad de Guayaquil.

2.4.4. Corporación Nacional de Electricidad regional Santo Domingo

CNEL regional Santo Domingo es una entidad pública encargada de otorgar servicio de Energía Eléctrica a todas las residencias dentro del área de concesión determinada, englobando 6500 Km², para otorgar este servicio cuenta con 10 Subestaciones eléctricas situadas estratégicamente las cuales son de vital importancia ya que de cada una se distribuye Energía Eléctrica a sus usuarios.

2.4.4.1. Estado actual del Sistema de Comunicación

El sistema de comunicación actual de CNEL regional Santo Domingo tiene capacidad de soportar servicio de datos logrado por enlaces inalámbricos divididos en dos centrales, Matriz y Chiguilpe, las subestaciones Centenario y Patricia Pilar se conectan directamente con la central Matriz y las subestaciones La Cadena, Concordia, Alluriquín, Valle Hermoso, Quevedo, Quito, El Carmen y El Rocío están enlazadas a la central de Chiguilpe la cual está conectada inalámbricamente con la Matriz.

2.4.4.2. Red Actual de la central CNEL Santo Domingo- Matriz

La central matriz cuenta con un Switch CISCO WS-C2950G que conecta tres equipos:

- Un Servidor AS400.
- Un equipo con antena parabólica 24/29 dBi, 5.8GHz la cual acopla a la agencia Colorado, y
- Un Router CISCO 1841, este router tiene conectado dos equipos:

- Un radio LUCENT TECHNOLOGIES COR LOBOMETRICS que trabaja a una frecuencia de 2.4 a 5.8GHz. Este radio tiene tres antenas grilla 24dBi, 2.4GHz para enlazar a los radios de la Agencia Continentes, la Subestación Centenario y Sistemas. La Subestación Centenario tiene un enlace hacia el Cerro Libre y de esa manera se une con la Subestación Patricia Pilar, en cada una se cuenta con un radio de similares características que el de la central.
- Un modulo para enlazar al repetidor Chiguilpe.

La red de datos de los enlaces desde la matriz se aprecia en la Fig. 21.

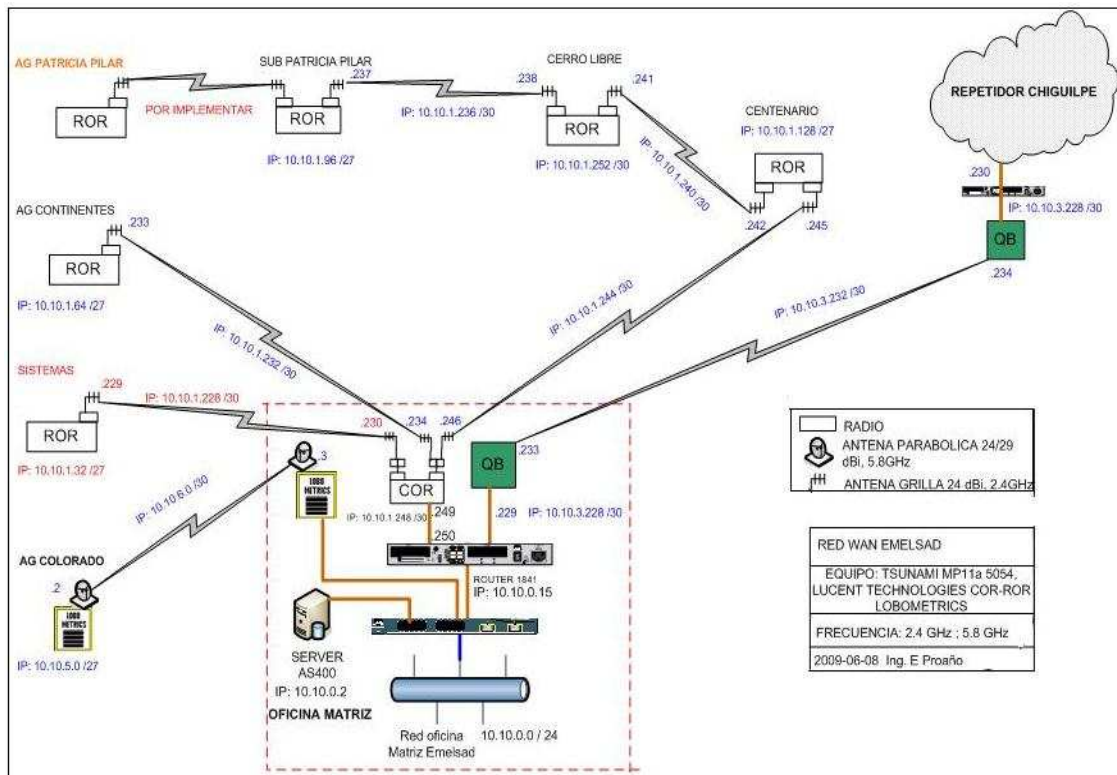


Fig. 21 Red CNEL Matriz¹⁷

2.4.4.3. Red Actual de la CNEL Sto. Dgo. Chiguilpe

El equipo activo principal en la central Chiguilpe es un Switch WS-C2950G, sus conexiones se describen a continuación.

- Un Router 1841 para enlazarse con la central matriz.
- Un radio ROR que tiene dos antenas grilla; una de ellas conecta a la subestación La Cadena y la otra antena conecta a la Agencia La Concordia que se conecta con la Subestación La Concordia.
- Un equipo para antena parabólica que forma el Backup Concordia (agencia y subestación), y se enlaza con la Agencia Unión.
- Un radio ROR que tiene dos antenas grilla, la primera enlaza a la Agencia y Subestación El Carmen y a la subestación El Rocío; la otra antena enlaza a la subestación Quito y Bodegas.
- Un router que enlaza a las subestaciones Alluriquín y Valle Hermoso por medio de antenas grilla, un router para unir a la subestación Quevedo mediante antenas parabólicas.
- Un equipo MP11a que enlaza a la Agencia Toachi por medio de antenas parabólicas.
- Un equipo 5054R para enlazar a la agencia Santa Martha.

La red de datos de los enlaces desde Chiguilpe se muestra en la Fig. 22.

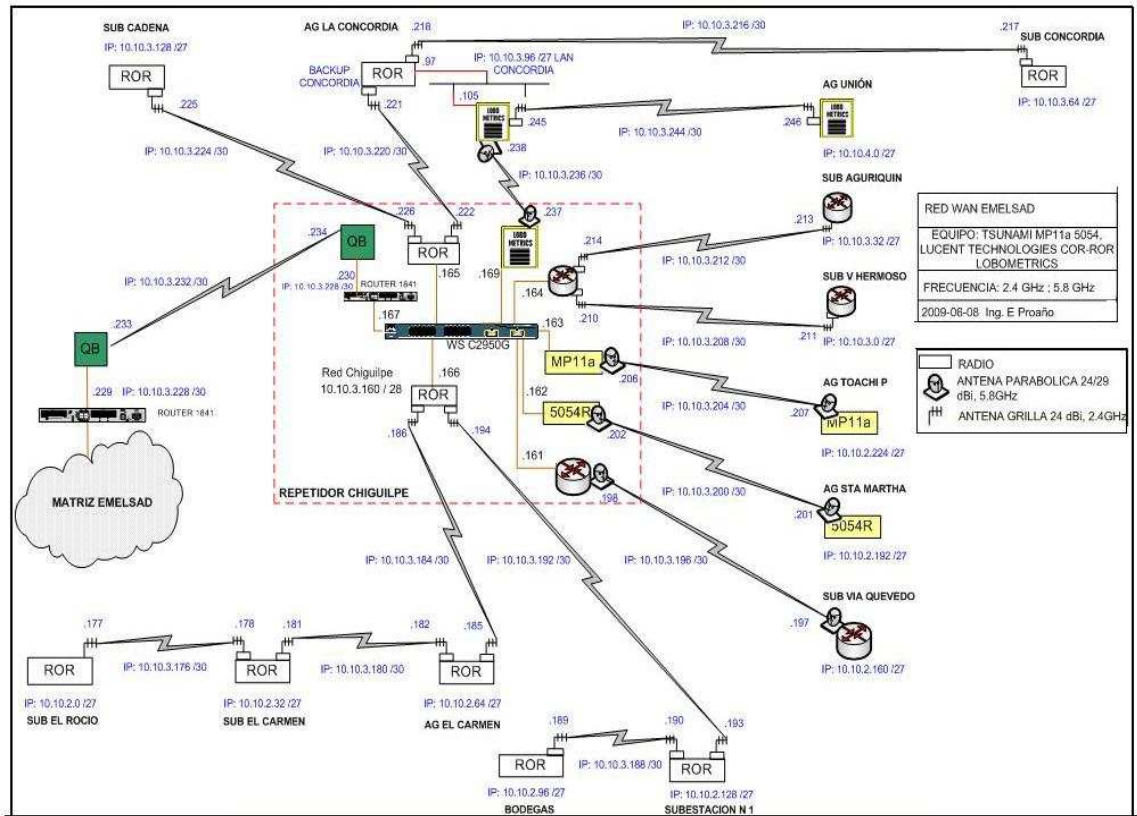


Fig. 22 Red CNEL Chiguilpe¹⁷

2.5. Variables

2.5.1. Variable independiente

Sistema de comunicación por fibra óptica y enlace inalámbrico.

2.5.2. Variable dependiente

Comunicación para la Corporación Nacional de Electricidad regional Santo Domingo.

2.6. Hipótesis

Al diseñar un sistema de comunicación por fibra óptica y enlace inalámbrico que posteriormente será implementado se dará una solución óptima al problema de comunicación actual que tiene la Corporación Nacional de Electricidad CNEL regional Santo Domingo.

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1 Enfoque

La investigación tuvo enfoque cualicuantitativo, el investigador se involucró en el problema de comunicación de las subestaciones de la Corporación Nacional de Electricidad regional Santo Domingo con su matriz analizándolo, evaluándolo, tomando decisiones y proponiendo posibles soluciones; además se apoyó en la información proporcionada por la Corporación.

3.2 Modalidad básica de la investigación

3.2.1 Investigación de campo

Esta modalidad de investigación fue importante pues permitió un acercamiento directo con el problema actual de la Corporación para obtener suficiente información sobre el sistema de comunicación entre las subestaciones eléctricas y la matriz CNEL regional Santo Domingo, analizarla, sistematizarla y relacionarse con las personas que están inmersos en las necesidades de la empresa mediante la aplicación de la entrevista.

3.2.2 Investigación bibliográfica

Con ella se sustentó el problema con criterios especializados de personas sabedoras del tema, documentos facilitados en internet y libros relacionados a sistemas de fibra óptica y enlaces inalámbricos, además se logró instaurar conceptos, ampliar y profundizar conocimientos sobre temas necesarios para construir un marco teórico consolidado.

3.3 Niveles de investigación

La investigación inició en el nivel exploratorio realizando una indagación directa del problema en el sistema de comunicación de la CNEL regional Santo Domingo, para tener una visión clara; alcanzó el nivel descriptivo para especificar las características del problema, siguiendo con el nivel correlacionado puesto que se relacionó las variables dependiente e independiente y finalizó con el nivel explicativo ya que se definió una posible solución al problema.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

La población la constituyó las personas quienes definen las necesidades del sistema de comunicación a diseñar: Jefe y Fiscalizador del Departamento de Planificación de la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL) regional Santo Domingo Ing. Edmundo Santander e Ing. Pablo Gamboa respectivamente.

3.4.2 Muestra

Debido a que los Ingenieros Edmundo Santander y Pablo Gamboa determinan las necesidades del sistema futuro, por ser responsables de la eficiente comunicación entre las subestaciones eléctricas y la matriz de la Corporación, ellos constituyen la muestra.

3.5 Recolección de información

3.5.1 Cuestionario de entrevista

1. Definir personas u objetos a ser investigados

Ingenieros Edmundo Santander y Pablo Gamboa, Jefe y Fiscalizador del Departamento de Planificación de CNEL regional Santo Domingo, respectivamente, quienes establecieron los requerimientos para el diseño del sistema de comunicación por fibra óptica y el enlace inalámbrico.

2. Selección de las técnicas a emplearse en el proceso

Ya que la muestra la conformaron pocas personas se empleó la entrevista.

3.6 Procesamiento y análisis de la información

3.6.1 Plan para procesar la información

a. Revisión de la información

Se efectuó una entrevista, para conocer la realidad del sistema de comunicación entre las subestaciones y matriz de la CNEL regional Santo Domingo, y se tuvo una visión clara sobre los requerimientos del sistema a diseñar en el presente trabajo.

b. Limpieza de la información

Se realizó en el momento de la entrevista aclarando sobre temas que no estuvieron claros y mediante respaldo bibliográfico en libros y documentos relacionados a sistemas de comunicación inalámbricos y por fibra óptica.

c. Estudio estadístico

3.6.2 Plan de análisis e interpretación

a. Análisis estadístico de los resultados

b. Interpretación de los resultados

Análisis de resultados

Debido a que se tuvo una entrevista con el Jefe y el Fiscalizador del Departamento de Planificación de CNEL regional Santo Domingo, se describen los puntos más importantes que se obtuvieron durante la misma, los cuales fueron primordiales para

conocer el problema que se presenta en la Corporación, la idea que tienen para mejorarlo y qué desean que se incluya en el nuevo sistema.

Por facilidad visual, en cada pregunta se presenta su respectivo análisis e interpretación de los gráficos.

1. ¿Cuál es la forma de comunicación actual que tienen en la Corporación?

Sistema de comunicación	
Entre subestaciones eléctricas y matriz CNEL regional Santo Domingo	Inalámbrico



Análisis

Las diez subestaciones eléctricas pertenecientes a la CNEL regional Santo Domingo están conectadas inalámbricamente a su matriz ubicada en el centro de la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas

2. ¿Se presentan inconvenientes con el sistema actual de comunicación entre las subestaciones eléctricas y la matriz, si los hay, cuáles son?

De acuerdo a lo expuesto por las personas entrevistadas si se presentan inconvenientes con el sistema de comunicación actual, entre los más relevantes están:

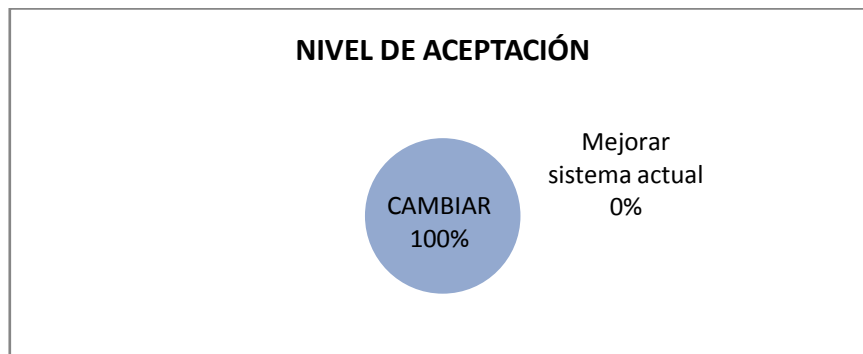
Problemas con el sistema de comunicación actual
Ancho de banda insuficiente
Bajo rendimiento del Sistema SCADA
Subestaciones incomunicadas
Agencias no pueden brindar atención a sus clientes

Análisis

Debido al reducido ancho de banda, el rendimiento del sistema actual es bajo, provocando que ocasionalmente las subestaciones eléctricas se queden incomunicadas con la matriz CNEL Sto. Dgo; al ocurrir esto, las agencias no cuentan con la información necesaria para poder atender a sus usuarios.

3. ¿Es necesario cambiar el medio de conexión o sería suficiente con mejorar el sistema actual?

Decisión sobre medio de conexión actual	Personas a favor	Porcentaje de aceptación
Mejorarlo	0	0%
Cambiarlo	2	100%

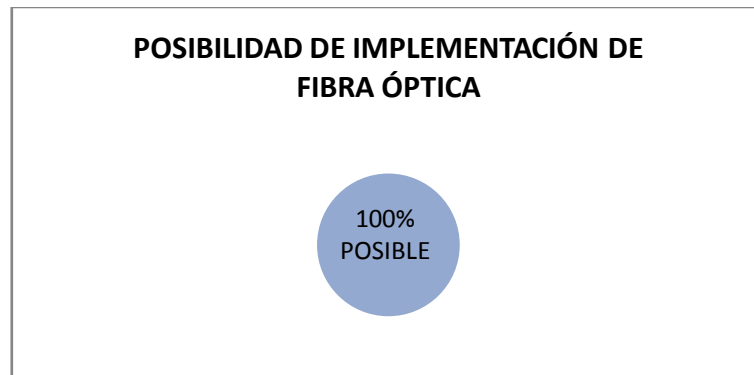


Análisis

Las dos personas que fueron entrevistadas piensan que es mejor cambiar el medio de comunicación actual. Esto demuestra que no están conformes con el sistema actual de comunicación de la Corporación y que es necesario contar con un medio de comunicación de mejores características que el inalámbrico.

4. ¿Es posible implementar fibra óptica hacia todas las subestaciones eléctricas de la Corporación?

Aspecto	Posibilidad	Porcentaje
Implementación de fibra óptica	Si	100%

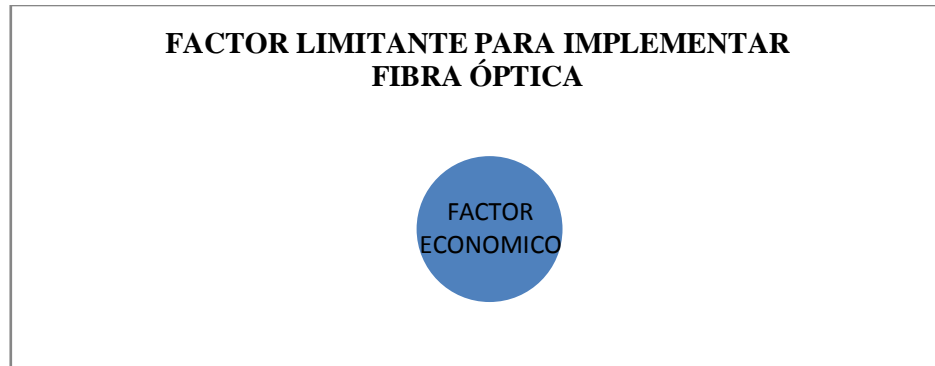


Análisis

La implementación de fibra óptica entre las subestaciones eléctricas y la matriz CNEL es posible

5. Respecto al factor económico, ¿es posible implementar fibra óptica entre todas las subestaciones eléctricas y la matriz CNEL?

Se conoció que el factor limitante es el económico



Análisis

La implementación de la fibra óptica es limitada en el aspecto económico, pero por los beneficios que brinda, se buscarán facilidades para lograrlo.

6. ¿Qué aspectos deben incluirse en el nuevo sistema de comunicación?

De acuerdo a los aspectos que piensan deben incluirse en el nuevo sistema son:

- Sistema que optimice los recursos.
- Debe soportar servicios de datos, voz y video.
- Los equipos deben soportar aplicaciones actuales y futuras.
- Gran ancho de banda.

Interpretación de los resultados

Entre los aspectos más importantes que se ha conocido durante la encuesta están: la CNEL Sto. Dgo. cuenta con diez subestaciones eléctricas las cuales están enlazadas inalámbricamente con la matriz, éstos enlaces presentan inconvenientes, reflejándose en la interrupción de la atención a los clientes durante 14 días laborables al año, lo cual manifiesta que el sistema no tiene buen nivel de confiabilidad y es necesario contar con un sistema que tenga mayor disponibilidad de información de las subestaciones eléctricas en la matriz.

Es por ello que las dos personas que fueron entrevistadas piensan que es mejor cambiar el medio de comunicación actual con uno de mejores características que el inalámbrico, siendo este medio la fibra óptica.

De las diez subestaciones pertenecientes a CNEL regional Santo Domingo, nueve están ubicadas en lugares donde no se tendría inconvenientes implementar fibra óptica, no siendo igual para una de ellas, por ello es necesario buscar una alternativa de conexión, la cual permita optimizar los recursos disponibles por la Corporación.

Debido al alto costo que implica la implementación de la fibra óptica, se desea implementarla en dos fases, inicialmente en las subestaciones que están localizadas dentro de la zona urbana de Santo Domingo (4 subestaciones eléctricas), posteriormente se implementará en las subestaciones que están alejadas de la ciudad (5 subestaciones eléctricas).

Verificación de la hipótesis

De acuerdo al estudio realizado se puede comprobar la aceptación del sistema de comunicación por fibra óptica y enlace inalámbrico, pues se reducirán los problemas que actualmente se presentan en la Corporación, proporcionando mayor confiabilidad en la comunicación entre las subestaciones eléctricas y la matriz CNEL regional Santo Domingo y disponibilidad de información para brindar a sus clientes mejor atención.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- El sistema de comunicación actual de CNEL regional Santo Domingo es ineficiente.
- Las subestaciones eléctricas de la CNEL regional Santo Domingo están conectadas inalámbricamente a la matriz, por lo que la comunicación puede ser interrumpida por condiciones atmosféricas que pueden ocasionar desviaciones o desvanecimientos de la señal transmitida, por lo que transmitir la información por fibra óptica se puede realizar de forma independiente de las condiciones climáticas.

- Al contar con un sistema escalable, óptimo e idóneo para servicios y aplicaciones que se tienen en la actualidad, se podrá brindar mejor servicio a los usuarios de la Corporación.

4.2. RECOMENDACIONES

- Aun cuando la Corporación decida cambiar el sistema de comunicación actual, se recomienda mantener los enlaces inalámbricos existentes, los cuales servirán como sistema de respaldo si se llegara a tener problemas con la comunicación por fibra óptica.
- Se recomienda que la fibra óptica sea de características adecuadas para la Corporación, es decir, aun cuando la fibra óptica monomodo en la ventana de 1330 nm podría cubrir la distancia entre subestaciones eléctricas ubicadas en la zona urbana y la matriz, es mejor utilizar fibra óptica monomodo, para brindar escalabilidad frente al crecimiento que se puede tener a futuro.
- Para contar con un sistema confiable, es necesario realizar un análisis sobre el ancho de banda que brinde los equipos usados, la potencia que se tendrá en recepción y la distancia máxima que se alcanzará, para decidir si es lo que se esperaba o es necesario cambiar los equipos escogidos.

CAPITULO V

PROPUESTA

SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR FIBRA ÓPTICA Y ENLACE INALAMBRICO PARA LA CORPORACION NACIONAL DE ELECTRICIDAD CNEL REGIONAL SANTO DOMINGO

5.1. ANALISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE FIBRA ÓPTICA

5.1.1. Descripción

Con el fin de proporcionar una mejor comunicación entre la matriz CNEL regional Santo Domingo y las subestaciones eléctricas La Cadena, Centenario, Quevedo y Quito se propone el diseño de un sistema de fibra óptica con las tecnologías DWDM y MPLS.

Los puntos que formarán parte de la red de fibra óptica son: central de control (matriz CNEL regional Santo Domingo) y las subestaciones eléctricas La Cadena, Quito, Centenario y Quevedo.

5.1.2. Requerimientos

Entre los requerimientos para el diseño se tiene:

- La red debe ser apta para incrementar su capacidad y soportar los servicios que se tendrá a futuro, sin necesidad de rediseñar la red.
- La red debe soportar aplicaciones de voz, datos y video
- Los equipos que se utilicen deben ser idóneos para las tecnologías DWDM y MPLS y capaces de manejar aplicaciones como Ethernet
- El medio que se utilice (fibra óptica) debe ser eficiente y presentar características de pérdidas mínimos.
- El diseño de la red debe fundamentarse en un estudio geográfico de la zona.
- Los elementos de la red deben conmutar en diferentes capas de red con el fin de optimizar su funcionamiento

5.1.3. Criterios técnicos para el diseño de la red

Los aspectos que serán analizados en el diseño son:

- Estudio geográfico de la zona.
- Determinación de la topología de la red.
- Análisis de tráfico.
- Detalle del recorrido de la fibra óptica.
- Selección de la fibra óptica a utilizar.
- Estudio de las pérdidas del enlace.
- Selección de los equipos más adecuados para la red.

5.1.3.1. Estudio geográfico de la zona

El estudio geográfico se lo realiza para conocer las características del terreno donde se pretende tender la fibra óptica.

Santo Domingo de los Colorados forma parte de la Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas ubicada geográficamente en la subregión cálida y húmeda de la región litoral o costa ecuatoriana. Se encuentra aproximadamente a 625 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio de 26.3 grados centígrados. Sus coordenada geográficas son 0°15'00'' Latitud Sur; 79°16'00'' Longitud Oeste.

Se requiere diseñar una red de fibra óptica para enlazar las subestaciones eléctricas: La Cadena, Quevedo, Centenario y Quito con el centro de control (matriz de CNEL regional Santo Domingo). Las opciones validas de tendido de fibra óptica para esta zona son: subterráneo y aéreo.

El tendido subterráneo de fibra óptica involucra elevados costos de instalación, autorizaciones para efectuar la obra civil en las calles de la ciudad y tener cuidado con las curvaturas que se produzcan en la fibra óptica, en el cambio de calles o al requerir doblar en una esquina, éstas no deben ser mayores a las especificadas por el fabricante.

El tendido aéreo aprovecha la infraestructura de postes ya instalados en la ciudad, generalmente propiedad de las empresas distribuidoras de energía eléctrica. El tendido aéreo representa un costo menor e instalación más sencilla al que implica un tendido subterráneo; por lo cual, es la alternativa más adecuada para la Corporación Nacional de Electricidad regional Santo Domingo.

5.1.3.1.1. Localización geográfica de la red

Las subestaciones eléctricas antes mencionadas y la matriz de CNEL Regional Santo Domingo representarán un nodo en la red de fibra óptica, es decir, la red de fibra óptica estará formada por cinco nodos; la ubicación de cada uno se detalla a continuación:

Nodo1: Matriz CNEL; Localizada en el centro de la ciudad, en la Avenida Los Tsáchilas entre las calles Río Tarqui y Río Yanuncay, Cooperativa Nacional, en las coordenadas cartesianas [703880.9000:9972585.5635:0].

Nodo2: Quevedo (Subestación). Situada en el kilometro 4.5 de la Avenida Quevedo, Cooperativa 15 de Septiembre, en las coordenadas cartesianas [699756.0036:9969373.9041:0].

Nodo3: La Cadena (Subestación). Ubicada en la Avenida El Cooperativismo, sector La Cadena, coordenadas cartesianas [703141.2000:9968875.4000:0].

Nodo4: Quito (Subestación). Instalada en la Vía Aloag-Santo Domingo kilometro 97, Cooperativa Chiguilpe, en las coordenadas cartesianas [706924.9281:9972236.5810:0].

Nodo5: Centenario (Subestación). Emplazada en la Avenida Los Colonos en la Urbanización Centenario, en las coordenadas cartesianas [704164.2126:9974219.0590:0].

5.1.3.2.Determinación de la topología de la red

La topología de la red de fibra óptica se fundamenta en un tipo de red anillo con direccionamiento unidireccional, en la cual se cruza tráfico entre dos terminales extremas (TE).

Se toma esta topología como referencia pues nos permite tener una red que ofrezca redundancia; como ya se explicó en el Capítulo II y se ilustra en la Fig. 24 (a), en este direccionamiento se utiliza dos hilos de fibra óptica para la transmisión en ambos sentidos, con ello, si un tramo ha sufrido algún daño, otra ruta estará trabajando normalmente y se tendrá la información por una ruta alternativa.

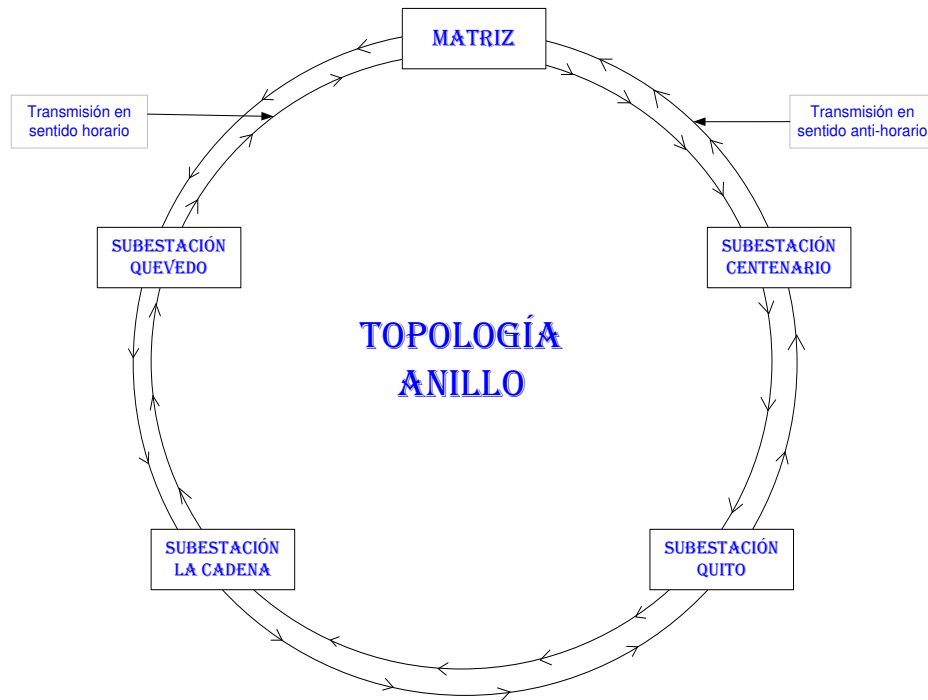


Fig. 23 (a) Topología anillo

Ejemplo, para obtener la información de la Subestación Quito en la matriz, la trayectoria más corta es por las rutas Quito-Centenario y Centenario-Matriz; pero si por efectos naturales (como caída de postes por tormentas, temblores, etc.) o humanos, se pierde la conexión Quito-Centenario, la manera de tener la información de ese nodo en la matriz es por la ruta larga, es decir por las rutas Quito-La Cadena, La Cadena-Quevedo y Quevedo-Matriz, de forma similar a lo ilustrado en la Fig. 24 (b).

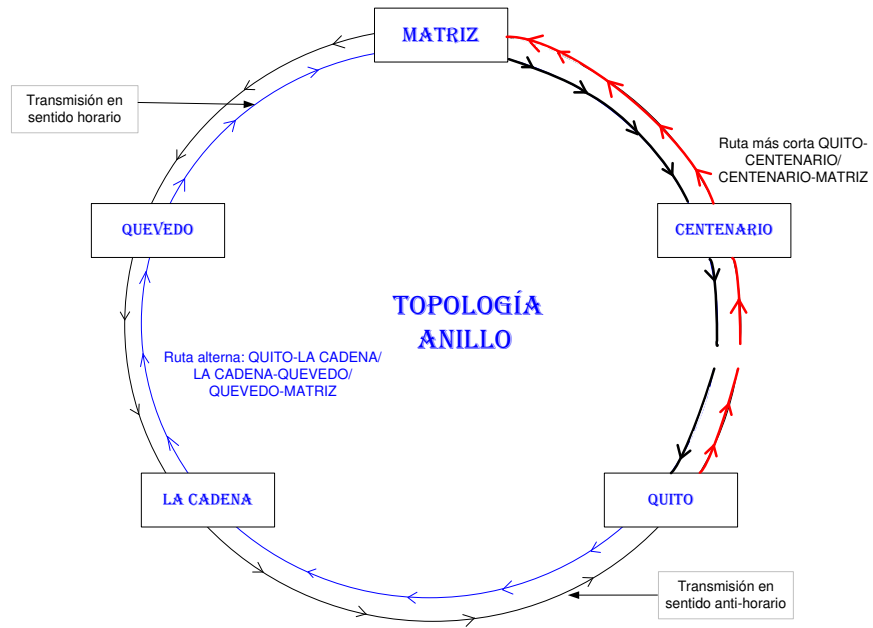


Fig.23(b) Ejemplo de redundancia de topología anillo

5.1.3.3. Análisis de tráfico

El tráfico de los cinco nodos está determinado por el número de CPUs, Medidores ION, cámaras, IED's y RTU's que tenga cada subestación.

5.1.3.3.1. Tráfico inicial de cada subestación

Las Tablas 1, 2, 3 y 4 contienen la información sobre el tráfico de cada subestación, los datos fueron proporcionados por la Corporación Nacional de Electricidad CNEL Regional Santo Domingo, Departamento de Planificación.

S/E QUITO			
Puntos	Detalle	B (Kbps)	Total
1	CPU (datos)	128	128
5	Medidores ION (datos)	128	640
1	Cámara (video)	256	256
1	RTU (datos)	128	128
3	Reconector electrónico	64	192
1	Relés de protección	64	64
		TOTAL Kbps	1408

Tabla 1 Tráfico Subestación Eléctrica Quito

S/E LA CADENA			
Puntos	Detalle	B (Kbps)	Total
1	CPU (datos)	128	128
3	Medidores ION (datos)	128	384
1	Cámara (video)	256	256
1	RTU (datos)	128	128
7	Relés de protección	64	448
		TOTAL Kbps	1344

Tabla 3 Tráfico Subestación Eléctrica La Cadena

S/E QUEVEDO			
Puntos	Detalle	B (Kbps)	Total
1	CPU (datos)	128	128
6	Medidores ION (datos)	128	768
1	Cámara (video)	256	256
1	RTU (datos)	128	128
3	Relés de protección	64	192
		TOTAL Kbps	1472

Tabla 2 Tráfico Subestación Eléctrica Quevedo

S/E CENTENARIO			
Puntos	Detalle	B (Kbps)	Total
1	CPU (datos)	128	128
4	Medidores ION (datos)	128	512
1	Cámara (video)	256	256
1	RTU (datos)	128	128
8	Relés de protección	64	512
		TOTAL Kbps	1536

Tabla 4 Tráfico Subestación Eléctrica El Centenario

El tráfico de las cuatro subestaciones eléctricas es de 5.76 Mbps y de La Matriz de CNEL se estima un tráfico 2 E1's (4.1Mbps), dando un tráfico total de 9.86 Mbps, como se muestra en la Tabla 5.

SUBESTACIÓN	TRÁFICO Kbps
LA CADENA	1344
CENTENARIO	1536
QUEVEDO	1472
QUITO	1408
MATRIZ CNEL	4100
TOTAL	9860

Tabla 5 Tráfico Total

5.1.3.3.2. Proyecciones Futuras

Se estima un crecimiento anual promedio del 20%, con el fin de seguir mejorando el servicio eléctrico brindado a los clientes de la Corporación CNEL regional Santo Domingo, se implementarán más cámaras, medidores, IED's y RTU's en cada subestación; también se desea contar con servicio de Voz sobre IP, por la ventaja que brinda ésta tecnología al reducir los costos de llamadas telefónicas, en comparación con la telefonía convencional, con esta tecnología se tendría mejor manejo de recursos de la Corporación.

Un sistema que abarque servicios de datos, voz, y video, como se tendrá en la Corporación Nacional de Electricidad regional Santo Domingo, se conoce como sistema TRIPLAY ó Triple-Play. Este sistema permite compartir eficazmente y sin perturbación los datos, la voz y el vídeo, la conexión se basa en datagramas IP para todos los servicios, las llamadas telefónicas se transmiten de forma similar al envío de los datos en internet, basado en la tecnología Voz sobre Protocolo de Internet (VoIP), esta tecnología permite que la voz viaje a través de Internet usando el Protocolo de Internet (IP), es decir las señales de voz son enviadas en forma de paquetes en lugar de enviarlas usando circuitos propios de telefonía, el tráfico de Voz sobre IP circula por cualquier red IP, como las redes LAN, incluso las que se conectan a Internet, la aplicación de esta tecnología se denomina

Telefonía IP la cual permite realizar llamadas telefónicas sobre las redes IP usando un PC, gateways y teléfonos estándares.

Para conocer el tráfico final que se tendrá a diez años se utiliza la fórmula:

$$C_f = C_i * (1 + X)^n$$

En la cual:

- C_f = Crecimiento final o tráfico final.
- C_i = Crecimiento o tráfico inicial de las subestaciones y matriz igual a 9.86Mbps.
- X Índice de crecimiento anual, se ha tomado 20%.
- n = número de años a los cuales se proyecta el sistema, para el diseño 10 años.

Remplazando todos estos datos en la fórmula obtenemos:

$$C_f = 9860Kbps * (1 + 0.2)^{10}$$

$$C_f = 9860Kbps * 6.1917$$

El tráfico que se tendrá en diez años será:

$$C_f = 61.0502Mbps$$

Este valor también se lo puede expresar en E1's, para ello se tiene que un E1 está formado por 32 canales de 64 Kbps, entonces:

$$E1 = \frac{C_f \text{ Kbps}}{32 * 64Kbps}$$

Remplazando se obtiene

$$E1 = \frac{61050.2}{2048} = 29.809$$

El tráfico total de cada nodo y crecimiento a diez años se presentan en la Tabla 6.

NODO	TRÁFICO Kbps
LA CADENA	1344
CENTENARIO	1536
QUEVEDO	1472
QUITO	1408
MATRIZ CNEL	4100
TRAFICO ACTUAL	9860
TRAFICO a 10 AÑOS	61050.2
TOTAL E1	29.81

Tabla 6 Tráfico en diez años

5.1.3.4. Detalle del recorrido de la fibra

El cableado de la fibra óptica se realiza por calles y avenidas de la ciudad de forma estratégica, con el fin de tener la ruta más corta entre los nodos.

5.1.3.4.1. Nodos de la ruta

- a. **Nodo1:** Matriz CNEL
- b. **Nodo2:** Quevedo (Subestación)
- c. **Nodo3:** La Cadena (Subestación)
- d. **Nodo4:** Quito (Subestación)
- e. **Nodo5:** Centenario (Subestación)

5.1.3.4.2. Descripción de los tramos de la red de fibra óptica

- a. Matriz CNEL - S/E Centenario
- b. S/E Centenario-S/E Quito

- c. S/E Quito - S/E LA Cadena
- d. S/E LA Cadena – S/E Quevedo
- e. S/E Quevedo- Matriz CNEL

5.1.3.4.3. Enrutamiento

Las rutas se han seleccionado tomando en cuenta factores como cercanía entre subestaciones, facilidad de enrutamiento, descartar la necesidad de utilizar repetidores, entre otros.

Los trayectos con sus respectivas distancias son las que se describen en la Tabla 7:

TRAYECTO	DISTANCIA Km	CALLES Y/O AV. DE RECORRIDO
MATRIZ –S/E CENTENARIO	2,03	Avenida Los Tsáchilas, Av. Esmeraldas y la Avenida Los Colonos
S/E CENTENARIO-S/E QUITO	4,25	Avenida Los Colonos
S/E QUITO-S/E LA CADENA	6,15	Calle S/N y Av. del Cooperativismo
S/E LA CADENA – S/E QUEVEDO	4,98	Avenida del Cooperativismo y Av. Quevedo
S/E QUEVEDO – MATRIZ	7,3	Avenida Quevedo, Av. Esmeraldas, Av. Clemencia Rodríguez de Mora y Av. Los Tsáchilas

Tabla 7 Distancia entre tramos

5.1.3.5. Selección de la fibra óptica a utilizar

La fibra óptica puede ser multimodo índice escalonado, multimodo índice gradual o fibra óptica monomodo.

La fibra óptica multimodo solo alcanza distancias máximas de 550 metros sin repetidor; la fibra monomodo, en la ventana de 1330nm, posee capacidad de transmisión superior a 1Gbps logrando cubrir distancias de hasta 10 Km sin repetidores, mientras que en la ventana de 1550nm alcanza distancias hasta 100Km sin repetidores. Según los datos tomados sobre las distancias entre nodos, ninguna sobrepasa los 10 Km, pero, para permitir la futura unión de las otras subestaciones eléctricas, se toma como referencia la fibra óptica monomodo en la ventana de 1550nm.

La fibra monomodo, según la especificación G.652, tiene cuatro derivaciones; A, B, C, y D. La recomendación G.652.A, tiene valores y atributos para aplicaciones como las de la recomendación G.957 y G.691 para sistemas de hasta STM-16, 10Gigabit Ethernet y alcance de 40Km y STM-256 para la recomendación G.693. La Recomendación G.652.B soporta aplicaciones de mayor capacidad binaria como las descritas en la recomendación G.691 y G.692, hasta STM-64, y para aplicaciones de las recomendaciones G.693 y G.959.1 hasta STM-256. G.652.C es similar a G.652.A pero permite transmisiones en la gama de longitudes de onda desde 1360 a 1530nm y G.652.D es similar a G.652.B, pero permite transmisiones en la gama de longitudes de onda ampliada desde 1360 a 1530.

La fibra monomodo de bajo pico de agua, de acuerdo a las recomendaciones G.652.D, permite una transmisión de alta capacidad y bajo costo en el espectro óptico de 1260nm a 1625nm. Las especificaciones técnicas que brinda esta fibra son excelentes para la transmisión aérea, por lo que se la tomará como base para el diseño.

Para la instalación aérea existen dos tipos de cables ópticos; Cable OPGW y Cable ADSS. El OPGW (Optical Power Ground Wire) es un cable mixto compuesto por una parte óptica y una parte metálica. La parte óptica realiza las funciones de enlace de telecomunicaciones, está constituida por fibra óptica y elementos de protección y cableado, la parte metálica realiza la función de cable

de tierra de la línea aérea de alta tensión. Usa el hilo de guarda para colocar las fibras pero se debe suspender el servicio de energía eléctrica para su instalación.

El cable ADSS (All Dielectric Self Supported) es de sencilla instalación, no requiere el corte de energía eléctrica para su instalación y por la ubicación en la parte alta de los postes o torres de energía eléctrica el mantenimiento no presenta complicaciones.

El cable de fibra óptica que se utilizará en el diseño será ADSS, pues su instalación y mantenimiento es más factible, además el costo es menor al del cable OPGW, esta fibra óptica debe cumplir con las especificaciones UIT-T G.652D.

Entre los proveedores de este tipo de cable están LINK, LUCENT, OPTRAL, FIBREFAB, entre otros. Para escoger la fibra con mejores características, se realiza una comparación entre dos productos de los proveedores LINK y OPTRAL cuyas especificaciones se presentan en la Tabla 8.

PROVEEDOR	LINK	OPTRAL
Descripción del producto	Cable de fibra óptica/ exteriores/monomodo/ tubo suelto	ADSS/tubo suelto/exteriores/ Monomodo
Diámetro del núcleo	8.3um	_____
Diámetro del revestimiento	125±1um	125±1um / 125±0.5um
Error de Concentricidad núcleo/revestimiento	≤0.5um	≤1um
Diámetro del campo modal	9.2 ± 0.4 μm @ 1310 nm 10.4 ± 0.6 μm @ 1550nm	9.2 ± 0.4 μm @ 1310 nm 10.3 ± 0.5 μm @ 1550nm
λ ₀ (Dispersión cero)	1300 ≤ λ ₀ ≤ 1324 nm	_____

Coeficiente de atenuación	≤ 0.35 dB/km @ 1310 nm	≤ 0.35 dB/km @ 1310 nm
	≤ 0.22 dB/km @ 1550 nm	≤ 0.35 dB/km @ 1383 nm
	≤ 0.30 dB/km @ 1625 nm	≤ 0.24 dB/km @ 1550 nm
Dispersión cromática	< 3.5 ps/(nm.km) @ 1288 ~ 1339 nm	≤ 3 ps/ (nm * Km) @ 1285nm - 1310 nm
	< 18 ps/(nm.km) @ 1550 nm	≤ 3 ps/ (nm*Km) @ 1550 nm

Tabla 8 Comparación entre la fibra óptica de LINK y OPTRAL

Los dos fabricantes presentan productos con similares características, pero se toma como referencia para el diseño la fibra óptica de LINK por proporcionar menor valor de dispersión. Un resumen de las características de la fibra óptica, extraídas de la hoja de datos, importantes para el diseño del proyecto en relación a los requerimientos del mismo se describe a continuación:

ESPECIFICACIONES DE LA FIBRA ÓPTICA LINK

Tipo de tendido	Aéreo
Tipo de cable de fibra óptica	ADSS
Número de hilos de f. óptica	16
SPAN	120 metros
Cumplimiento de Especificación	UIT-T G.652.D
Ventana de operación	1550nm
Atenuación	0,22dB/Km
Dispersión	18dB/ (nm*Km)

5.1.3.6. Estudio de las pérdidas del sistema

Para determinar las pérdidas que se generarán en el sistema se requiere extraer los datos de atenuación y dispersión, adicionalmente, se considera un valor típico de pérdidas por empalmes de fusión de 0.05dB y de conectores 0.2dB.

Datos:

Atenuación máxima: 0.22dB

Dispersión máxima: 18ps/nm*Km

Pérdidas por empalme: 0.05dB

Pérdidas por conector: 0.2dB

El número de empalmes está relacionado con la cantidad de fibra que viene en cada bobina, en este caso se toma como referencia bobinas de 4000 metros de fibra óptica, por lo que cada cuatro kilómetros se requerirá un empalme. Los conectores que se requieren son dos por nodo.

5.1.3.6.1. Cálculo de las pérdidas

LA CADENA – QUEVEDO

Pérdida total=pérdida por km+ pérdida por conector + empalmes + eventos
margen

$$(4.98*0.22\text{dB/km}) + (0.2\text{dB}*2) + (0.05*1) + 1.5\text{dB}=3.0456\text{dB}$$

$$\text{Cálculo de dispersión: } 4.98\text{km} * 18 \text{ ps/nm} = 89.64 \text{ ps/nm}$$

QUEVEDO – MATRIZ

Pérdida total=pérdida por km+ pérdida por conector + empalmes + eventos
margen

$$(7.3*0.22\text{dB/km}) + (0.2\text{dB}*2) + (0.05*1) + 1.5\text{dB}=3.556 \text{ dB}$$

Cálculo de dispersión: $7.3\text{km} * 18 \text{ ps/nm} = 131.4 \text{ ps/nm}$

MATRIZ – CENTENARIO

Pérdida total=pérdida por km+ pérdida por conector + empalmes + eventos
margen

$$(2.03*0.22\text{dB/km}) + (0.2\text{dB}*2) + (0.05*0) + 1.5\text{dB}=2.3466 \text{ dB}$$

Cálculo de dispersión: $2.03\text{km} * 18 \text{ ps/nm} = 36.54\text{ps/nm}$

CENTENARIO-QUITO

Pérdida total=pérdida por km+ pérdida por conector + empalmes + eventos
margen

$$(4.25*0.22\text{dB/km}) + (0.2\text{dB}*2) + (0.05*1) + 1.5\text{dB}=2.885 \text{ dB}$$

Cálculo de dispersión: $4.25\text{km} * 18 \text{ ps/nm} = 76.5 \text{ ps/nm}$

QUITO – LA CADENA

Pérdida total=pérdida por km+ pérdida por conector + empalmes + eventos
margen

$$(6.15*0.22\text{dB/km}) + (0.2\text{dB}*2) + (0.05*1) + 1.5\text{dB}=3.303\text{dB}$$

Cálculo de dispersión: $6.15\text{km} * 18 \text{ ps/nm} = 110.7\text{ps/nm}$

La Tabla 9 contiene los valores de distancia, dispersión y las pérdidas que se producen en cada tramo o trayecto.

TRAYECTO	Distancia Km	Pérdidas TOTAL dB	Dispersión ps/nm
MATRIZ – CENTENARIO	2,03	2,3466	36,54
CENTENARIO-QUITO	4,25	2,885	76,5
QUITO-LA CADENA	6,15	3,303	110,7
LA CADENA – QUEVEDO	4,98	3,0456	89,64

QUEVEDO – MATRIZ	7,3	3,556	131,4
TOTAL	24,71	15,1362	444,78

Tabla 9 Distancia, Pérdidas y Dispersión de cada enlace

5.1.3.7. Selección de los equipos

En DWDM los componentes claves para una red óptica son MUX/DEMUX, transductor, receptor y fibra óptica, opcionalmente, se requiere un amplificador óptico (EDFA), para regenerar la señal antes de la demultiplexación y después de la multiplexación, indispensable en redes de gran distancia.

Una breve explicación sobre el proceso de transmisión y recepción de la información se da a continuación.

Primero cada señal eléctrica se transforma a óptica y se le asigna una o más longitudes de onda (λ), cada λ representa un canal; ingresan al multiplexor, son combinadas y transmitidas simultáneamente por la fibra óptica, en el lado receptor, las señales son separadas en longitudes de onda individuales y cambiadas nuevamente a señales eléctricas, como se observa en la Fig. 24.

El multiplexor o mux es un dispositivo que recibe varias señales de entrada y las transmite por un medio de transmisión, en este caso la fibra óptica, para lograrlo divide el medio en varios canales, la división del medio es por longitud de onda, las señales que son multiplexadas deben ser demultiplexadas en el otro extremo, para ello utiliza el demultiplexor que realiza las funciones contrarias al multiplexor.

El transductor cambia las señales eléctricas a ópticas, usando un diodo laser, mientras que el receptor cambia las señales ópticas a eléctricas, mediante un diodo APD ó PIN, existen equipos que combinan tanto el diodo láser como diodo ADP ó PIN, llamados transceivers, incluso, existen equipos que incorporan transceivers y mux/demux, los cuales se los tomará como referencia para el diseño.

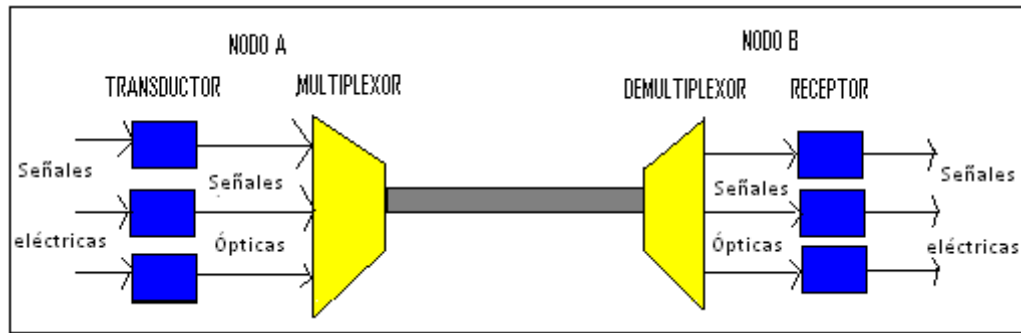


Fig. 24 Proceso de envío y recepción de señales

Este equipo debe cumplir con los siguientes parámetros:

- Combinar transceivers y mux-demux
- Cumplir con las especificaciones UIT-T G.694.1
- Trabajar en la banda C
- Tener mínimo cuatro canales

Proveedores de estos equipos son PACKETLIGHT NETWORKS, JDSU, AOXC Technologies y FIBERNET, con equipos como:

- XMUX4 (MUX/DEMUX DWDM - 10Gbps) de FIBERNET
- DWDM MUX/DEMUX MODULE de AOXC
- PL-400 Multiservice CWDM and DWDM Transport Access Device

Las características de importancia se resumen en la Tabla 10

PACKETLIGHT NETWORKS	FIBERNET
PL-400	XMUX4+
Soporta topologías punto a punto, anillo, ADM lineal	4 canales
Incorpora mux/demux y EDFA, par ambos modos, transponder y regenerador	10Gbps de ancho de banda por canal

Enlace CWDM: 1270nm-1610nm de la norma G.694.2 con espaciamento de 20nm; potencia óptica de salida: 0dBm (min), +5dBm (max); sensibilidad:-28dBm (APD), -18dBm (PIN)	Funcionamiento en 2da ó 3ra ventana Banda de operación: C Espaciamento de canales de 100Ghz
Enlace DWDM: canales del 15 al 60 de la norma G.694.1 con espaciamento de 100GHz; potencia óptica de salida: 0dBm (min), +4dBm (max); sensibilidad:-28dBm (APD)	Proporciona regeneración tipo 3R Posibilidad de alimentación redundante
Atenuación del enlace: <4dB (Mux+Demux)	4 interfaces ópticas doble LC

Tabla 10 OXC de AOXC Technologies y FIBERNET

Como se observa en la tabla, el equipo PL-400 presenta excelentes características de transmisión y sensibilidad pero su precio referencial es muy elevado, mientras que el equipo XMUX4+ tiene un costo menor y permitirá tener gran ancho de banda, por ello se toma como referencia para el diseño este equipo. En la Fig. 25 se tiene una ilustración del equipo escogido.



Fig. 25 Equipo XMUX4+¹⁸

Un backbone MPLS se compone de tres capas principales:

- a. **Capa de acceso:** Es el punto de entrada para estaciones de trabajo y servidores a la red, opera en la capa dos del Modelo OSI, además, brinda servicios como asociación de VLAN.

b. Capa de distribución: Punto medio entre la capa de acceso y los servicios principales de la red, realiza enrutamiento, filtrado y acceso a la red, otras funciones de esta capa son:

- Realiza manipulación de paquetes.
- Proporcionar servicios de seguridad y filtrado.
- Sirve como punto de concentración para acceder a dispositivos de capa de acceso.
- Segmenta la red en múltiples dominios de difusión o broadcast.

c. Capa de conmutación: Conocida como capa núcleo (Core), su función es desviar el tráfico lo más rápidamente posible hacia los servicios apropiados.

Para redes en las que implica la conexión de todos los departamentos de la estación, se debe implementar la red con los equipos de mejores características de cada capa de red, sin embargo, la red de fibra óptica es independiente a la red principal de la Corporación y en las subestaciones eléctricas no se tiene un número elevado de componentes de red, por lo que no se requiere utilizar un switch de capa de acceso; el switch de capa de distribución, que es multicapa, realiza las también esa función, entonces en la red solo se requerirá un switch multicapa y en la matriz un router que soporte tecnología MPLS para la capa núcleo.

Utilizar un switch multicapa permite tener alto control de las aplicaciones de la red, además, brinda ventajas como:

- Eliminar cuellos de botella en ciertos puertos.
- Monitorear el número de paquetes de datos enviados o recibidos en cada puerto.

- Diagnostico o eliminación de fallos mediante duplicación de puertos (reenvía una copia de los paquetes desde un puerto a otros puertos del mismo switch para que sean estudiados).
- Habilidad de control.

Proveedores de estos equipos son CISCO, 3COM, entre otros.

Para comparación se presenta los siguientes switches.

- Cisco MDS 9120
- 3Com switch 5500
- Cisco Catalyst 3560 Switch multicapa

Las características de estos switches se presentan en la Tabla 11.

Descripción del equipo	Cisco MDS 9120 Multilayer Fabric Switch - 20 puertos	3Com Baseline Switch 2426-PWR Plus - 24 puertos	Cisco Catalyst WS-C3560G- 48TS-S
Factor de forma	Montable en bastidor - 1U	Externo - 1U	Montable en bastidor - 1U
Dimensiones (Ancho *Profundidad *Altura)	43.7 cm x 58.7 cm x 4.5 cm	44 cm x 23.8 cm x 4.4 cm	44.54cm x 40.9cm x 4.4 cm
Peso	11.4 kg	3.2 kg, 3.3 kg	6.4 kg
Memoria Flash	-	-	32 MB
Velocidad de transferencia de datos	2 Gbps	100 Mbps	1000 Mbps
Protocolo de interconexión de datos	Fiber Channel	Ethernet, Fast Ethernet	Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet

Tabla 11 Router de CISCO y 3Com

El proveedor de mayor importancia en la tecnología MPLS es CISCO, y el equipo que mejor características nos brinda es Catalyst WS-C3560G-48TS- S.

Para la capa de conmutación o capa núcleo se puede utilizar equipos que brinda el proveedor CISCO, ya que ha participado activamente en el desarrollo de MPLS poniendo a disposición gran variedad de Routers para equipar la red, entre ellos están: Router 12016, Router 12410, Router 12810, entre otros.

La Tabla 12 contiene el resumen de las características de estos equipos.

Modelo	12810	12410	12016
Slots	10	10	16
Capacidad de enrutamiento	800Gbps	200Gbps	50Gbps
QoS	Si	Si	Si
Servicios soportados	Voz, datos, video	Voz, datos, video	Voz, datos, video
Memoria RAM	----	128MB	128MB

Tabla 12 Routers core/edge CISCO

El router 12810 es el que mejores características presenta, pero no se encuentra en el mercado con facilidad, en su lugar, el router 12410 tiene similares características, es de menor costo y de mayor distribución, por lo que se lo toma para el diseño.

5.1.3.8.Descripción de las tecnologías utilizadas

Actualmente se experimenta gran demanda de ancho de banda, por lo que tecnologías como SONET (Red Óptica Síncrona) y SDH (Jerarquía Digital Síncrona) que se consideraban fundamento de las redes ópticas no satisfacen las necesidades de las redes actuales dando lugar al desarrollo de nuevas tecnologías, como la tecnología DWDM, que realiza las funciones de encaminamiento, amplificación, inserción y extracción de señales, todo, en el dominio óptico, a diferencia de SONET y SDH que lo realiza en el dominio eléctrico, además,

brinda transparencia en las señales que transporta, gran ancho de banda sin necesidad de uso de amplificadores y otras características importantes.

La combinación de las ventajas que brinda el encaminamiento inteligente de nivel 3 con la rápida conmutación de nivel 2 se logra con la tecnología MPLS, esto se obtiene mediante el uso de conmutación de paquetes por una etiqueta de longitud fija, consiguiendo así, mayores beneficios en el transporte de paquetes IP.

MPLS comprende el uso de IPv4 (direcciones de 32 bits distribuidos en cuatro grupos de 8 bits cada uno) e IPv6 (direcciones de 128 bits distribuidos en 8 grupos de 16 bits cada uno) sobre tecnologías de nivel 2 orientadas a la conmutación de paquetes (Ej. Gigabit Ethernet, ATM y Frame Relay), adquiriendo mayor integración y menor complejidad en el control de los dispositivos de red. Además, con esta tecnología se puede realizar ingeniería de tráfico (TE), cursar tráfico con diferentes calidades de servicio, y crear redes privadas virtuales (VPN).

5.1.3.9. Canalización

La Canalización se refiere a la asignación de un valor de longitud de onda para cada canal, dentro de la gama de longitudes de onda de la recomendación UIT-T G.694.1 para DWDM, la asignación de las longitudes de onda se realiza para cada aplicación. Como se está transmitiendo en la tercera ventana (1550nm), según la recomendación UIT-T G.694.1, se utiliza la banda C que tiene espaciamiento de 100GHz, se asignará una longitud de onda, o canal, para cada aplicación; como se describió en el Capítulo II, se recomienda espaciamiento de 400GHz para sistemas de cuatro canales.

Para servicios de voz se usará el canal 24; para datos el canal 28; para video el canal 32 y el canal 36 se reservará para mantenimiento, como se ilustra en la Fig. 26.

Regilla DWDM Banda C espaciamento de 100GHz			
# de canal	Frecuencia THz	Longitud de onda	Aplicación
24	192,4	1558,17	Voz
25	192,5	1557,36	
26	192,6	1556,55	
27	192,7	1555,74	
28	192,8	1554,94	Datos
29	192,9	1554,13	
30	193,0	1553,33	
31	193,1	1552,52	
32	193,2	1551,72	Video
33	193,3	1550,92	
34	193,4	1550,12	
35	193,5	1549,32	
36	193,6	1548,51	Mantenimiento

Fig. 26 Norma G.694.1

5.1.4. Protocolos de control MPLS

En MPLS se necesitan protocolos para la generación de tablas de encaminamiento, los cuales proporcionan seguridad a la red y para la distribución de etiquetas; las tablas de enrutamiento se establecen mediante el uso de bases de datos de estado de enlace y de políticas de control de tráfico, los protocolos que se pueden usar para la generación de las tablas de encaminamiento son OSPF (sucesor de RIP), IS-IS y para la distribución de etiquetas los protocolos CR-LDP y RSVP

Para mayor comprensión de cada protocolo se describe a continuación las principales características de cada uno de ellos.

5.1.4.1. RSVP-TE (Resource Reservation Protocol- Traffic Engineer)

- Protocolo de reservación de recursos.
- Reserva recursos para un flujo específico, a lo largo de todo el camino, entre nodo origen y nodo destino garantizando la calidad del servicio.
- Permite que receptores individuales conmuten canales libremente.

- Especifica los requerimientos de ancho de banda y de condiciones de tráfico para una trayectoria que esté establecida, si el ancho de banda que se requiere para la transmisión está disponible, entonces se instituye el enlace de transmisión.
- Envía mensajes de señalización, no transporta datos de aplicación.
- La extensión TE del protocolo permite la implementación de la Ingeniería de Tráfico.
- Es un protocolo de ‘estado suave’, utiliza datagramas UDP e IP como mecanismos de señalización para construir los LSPs.

5.1.4.2.CR-LDP Constraint Based Routing Label Distribution Protocol

- Extensión del protocolo LDP.
- Es un protocolo de encaminamiento basado en restricciones.
- Conjunto de procedimientos mediante los cuales los LSR (ruteador de conmutación de etiquetas) no solo intercambian etiquetas y crean los LSPs (ruta conmutada de etiquetas), sino además realizan ruteo imponiendo ciertas restricciones, como ancho de banda, calidad de servicio, retardo, entre otras relacionadas con el trayecto.

5.1.4.3.BGP- Border Gateway Protocol

- Protocolo de Intercambio de Borde.
- Es un protocolo para el intercambio de información de enrutamiento entre dos host Gateway, cada uno con un enrutador.
- Sirve para construir las tablas de encaminamiento.
- Las tablas de encaminamiento indican la dirección IP del siguiente nodo al que le será enviado el paquete para que pueda alcanzar su destino final.

5.1.4.4.OSPF – Open Shortest Path First

- Abrir primero la trayectoria más corta.
- Protocolo de enrutamiento de estado de enlace.
- Cada estado de enlace crea una inundación de información de ruta, proporcionando a los routers un panorama completo de la topología de la red.
- Los cambios de los estados de enlace son enviados a los routers tan pronto como se vayan produciendo.
- Los protocolos de estado de enlace utilizan anuncios del estado de enlace LSA (paquetes de broadcast) que contienen información sobre el costo de la ruta.
- Los LSA son usados por los routers receptores para conocer sobre los cambios en la topología de la red y mantener sus tablas de enrutamiento, de esta manera actualiza sus bases de datos.
- Una vez actualizada la base de datos, usa el algoritmo SPF para calcular la topología lógica sin bucles y determina la ruta de menor costo, es decir, la mejor ruta.
- Es un protocolo sucesor del Protocolo RIP.
- OSPF es la unión de tres sub-protocolos:
 - ❖ Hello.- Comprueba que los enlaces siguen establecidos.
 - ❖ Exchange.- Intercambia el contenido inicial de la base de datos entre dos routers vecinos.
 - ❖ Flooding.- Para comunicar cambios en las bases de datos respectivas.

5.1.4.5.RIP - Routing Information Protocol

- Protocolo de encaminamiento de información.
- Es un protocolo de puerta de enlace interna o IGP (Internal Gateway Protocol) utilizado por los routers para intercambiar información acerca de redes IP.

- Es un protocolo abierto, soportado por muchos fabricantes.
- Para determinar la mejor métrica, únicamente toma en cuenta el número de saltos (por cuántos routers o equipos similares pasa la información); no toma en cuenta otros criterios importantes, como ancho de banda de los enlaces.
- Protocolo usado con limitaciones.

5.1.4.6.IS-IS Intermediate System-Intermediate System

- Sistema Intermedio a Sistema Intermedio.
- Protocolo de estado de enlace, con similares características que OSPF.
- Fue creado como parte de la arquitectura de red OSI.

5.1.5. Selección de protocolos

Para la creación de las tablas de encaminamiento y proporcionar seguridad a la red se puede considerar los protocolos OSPF, RIP o BGP, se elige el protocolo OSPF ya que proporciona enrutamiento más económico y multiruta, además los equipos seleccionados manejan este protocolo.

Los protocolos usados en la distribución de etiquetas son RSVP y CR-LDP, ambos con similares características; debido a la importancia del Protocolo RSVP-TE en la señalización en los LSP, codificación del ancho de banda, entre otros aspectos, se lo toma como referencia para el diseño.

5.1.6. Equipamiento de la red

Las tasas de tráfico de las subestaciones, tanto actual como la proyectada a diez años que se calculó anteriormente, son cubiertos por los equipos seleccionados en el diseño, además, soportan los servicios planteados como requisitos para el sistema de fibra óptica. En forma resumida, la Matriz de la Corporación, se

equipará con un Router CISCO 12410 para la capa núcleo, un switch multicapa Catalyst 3560 de CISCO y un mux-demux DWDM XMUX4+ de FIBERNET, en las subestaciones se requiere tan solo el switch multicapa y el mux-demux, ya que no requieren el acceso a internet.

La Fig. 27 ilustra la configuración de la red que se tendrá con el sistema de fibra óptica.

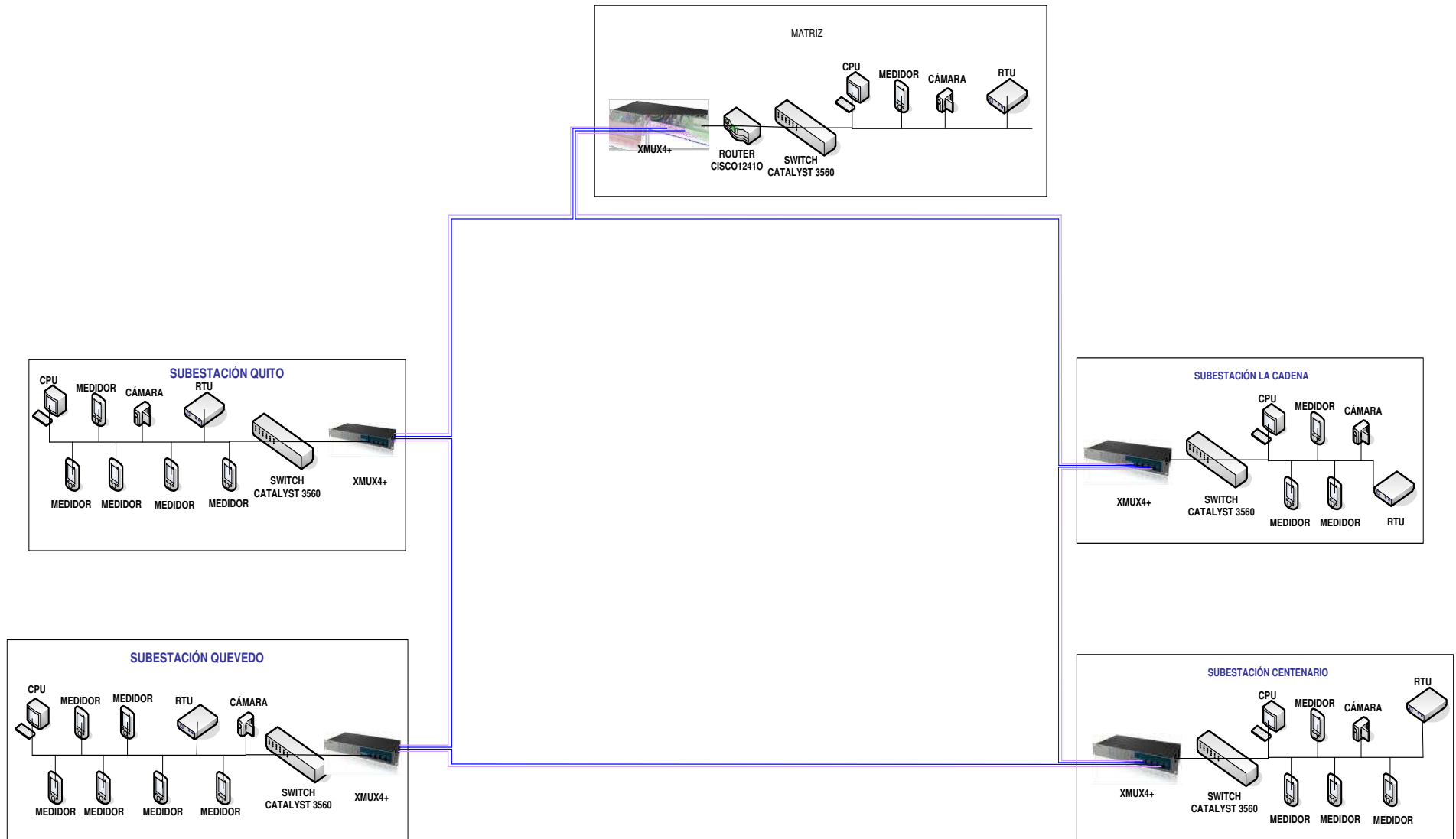


Fig. 27 Equipamiento de la red

Para tener mayor capacidad de ancho de banda en la transmisión de la información, se toma como referencia un sistema unidireccional, es decir, se utilizará un hilo de fibra óptica para la transmisión en un sentido, y otro para transmisión en sentido contrario. Sin embargo, para reserva y futuro arrendamiento de hilos de fibra óptica a otras empresas, se adquiere un cable de 16 hilos de fibra óptica.

El sistema está diseñado con cable de fibra óptica de estructura abierta, suelta o Loose tube, la cual se usa para exteriores, a diferencia del cable de estructura ajustada o Tigh buffer que se recomienda utilizarlo para interiores.

El inconveniente que presenta el cable loose tube es que es más frágil, su conectorizado se recomienda que sea mediante pigtails, no es conveniente realizar conexiones directas con un conector. Los pigtails son patch cords divididos al medio que tienen un conector prepulido de fábrica que se empalma al extremo de la fibra.

En cada nodo se requerirá dos pigtails, requiriendo en total diez pigtails.

Equipos pasivos

A más de los equipos pasivos ya descritos, también se requiere un Armario de Distribución de Fibra Óptica (ODF) en cada nodo para facilitar la centralización, interconexión y derivaciones de la fibra óptica y un Rack de montaje de 19". El total de ODF y Rack a utilizar son diez (5 ODF y 5 Rack).

En el tendido de la fibra óptica se requiere ubicar herrajes de suspensión de alta resistencia en cada punto de montaje del cable de fibra óptica aérea para proporcionarle soporte, los tipos de herrajes que se utiliza son de paso y terminal y se ubican en los postes de manera similar a lo que ilustra la Fig. 28.

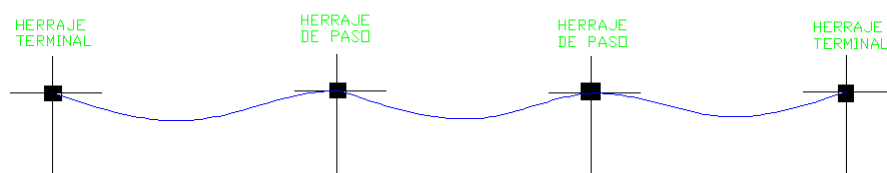


Fig. 28 Herrajes de paso y terminal

En la Tabla 13 se presenta el número de postes y herrajes requeridos en cada trayecto.

TRAYECTO	Postes	Herrajes de paso	Herrajes terminal
MATRIZ – CENTENARIO	51	34	17
CENTENARIO-QUITO	97	64	33
QUITO-LA CADENA	84	56	28
LA CADENA – QUEVEDO	90	60	30
QUEVEDO – MATRIZ	195	130	65
TOTAL	517	344	173

Tabla 13 Número de postes y herrajes de cada enlace

Se requiere en total 344 herrajes de paso y 173 herrajes terminal.

5.1.7. Análisis económico

5.1.7.1. Costo de los enlaces entre nodos

Para conocer el costo de los enlaces se toma en cuenta la cantidad de fibra necesaria y elementos pasivos requeridos como pigtaills, herrajes, empalmes y cajas de empalmes, los precios de estos elementos se presentan en la Tabla 14.

PRESUPUESTO			
CANT.	DETALLE	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
7	Rollos 4000m de f. óptica ADSS 16h	24000	168.000
4	Cajas de empalme	500	2.000
10	Pigtail SM 9/125 μ m, SC/APC	19.5	195
344	Herrajes de paso	4	1.376
173	Herrajes terminal	5	865
TOTAL			\$172.436

Tabla 14 Costo de los enlaces

5.1.7.2. Costo de equipos de cada nodo

En cada nodo se requiere un switch multicapa, un ODF, un rack y un MUX/DEMUX.

Adicionalmente, en la matriz CNEL se requiere un Router para MPLS el precio de cada elemento y precio final se tienen en la Tabla 15.

PRESUPUESTO			
CANTIDAD	DETALLE	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
5	Switch Catalyst 3560 Multicapa	6.000	30.000
1	Router CISCO 12410	6.500	6.500
5	MUX/DEMUX XMUX4+	300	1.500
5	ODF	200	1.000
5	Rack- armario 19''	350	1.750
TOTAL			\$40.750

Tabla 15 Costo de equipos

5.1.7.3. Costo de operación

Para conocer el valor de operación del proyecto se toma en cuenta tres factores:

Estudio: Contiene los gastos de diseño que se estima en \$300.

Instalación: Es el resultado de sumar los costos de los enlaces y equipos los cuales se presentan en la Tabla 16.

Costos de los enlaces	172.436
Costos de los equipos	40.750
TOTAL	\$213.186

Tabla 16 Costos de enlaces y equipos

Además se agrega el valor de ingeniería correspondiente al 30% del valor de instalación, el valor total de instalación se muestra en la Tabla 17.

Valor de instalación	\$213.186,00
Ingeniería 30%	\$63.955,80
TOTAL INSTALACION	\$277.141,80

Tabla 17 Costo de instalación

Fase de prueba: Para un óptimo funcionamiento del sistema se estima un periodo para pruebas de un mes, los gastos que se produzcan en este periodo están incluidos en el valor de ingeniería.

La Tabla 18 contiene el valor total de operación.

Operación	
Estudio	300,00
Instalación	277.141,80
Total	\$ 277.441,80

Tabla 18. Costo total operación

5.1.7.4. Costo de capacitación

Para obtener un óptimo funcionamiento del sistema se requiere que el personal sea capacitado:

- Personal encargado de operación del sistema.
- Personal de mantenimiento preventivo y correctivo.

El costo de capacitación se presenta en la Tabla 19:

Capacitación	
Personal encargado de operar el sistema	5.000,00
Personal de mantenimiento	15.000,00
Total	\$20.000,00

Tabla 19 Costo total operación

5.1.7.5. Costo de mantenimiento

Para un óptimo funcionamiento del sistema se provee tener revisiones anuales de prevención y de reparación, en caso necesario, estableciendo un valor anual de \$6.000.

Con el fin de que el personal encargado del sistema pueda dar mantenimiento al sistema se requiere equipos como:

- OTDR
- Medidor de potencia
- Fusionadora
- Caja de herramientas, entre otras.

Los equipos y sus costos se muestran en la Tabla 20.

Equipos	Costo
OTDR	\$18.000
Medidor de potencia	\$8.000
Fusionadora	\$15.000
Caja de herramientas	\$600
TOTAL	\$41.600

Tabla 20 Costo de equipamiento

5.1.7.6. Costo total del proyecto

El costo total del proyecto es de \$345.041,80, como se muestra en la Tabla 21.

Costo a 10 años	
Operación	277.441,80
Capacitación	20.000,00
Mantenimiento	6.000,00
Equipos	41.600,00
Total	\$ 345.041,80

Tabla 21 Costo total del proyecto

5.1.8. Justificación de gastos

Los costos de los equipos necesarios para implementación y mantenimiento del sistema están basados en los precios que los proveedores de equipos e implementos publican en sus sitios web, por lo que representan precios referenciales que pueden variar al momento de adquirirlos.

Para capacitación, el personal debe especializarse en diseño e implementación cableado de fibra óptica, mantenimiento de sistemas de fibra óptica, funcionamiento de equipos de empalme y medidas, administración de redes, entre otros que se requiera a su momento. A continuación se presenta algunos precios referenciales de especializaciones en fibra.

- | | |
|---|--------|
| • Administración de redes CCNA CISCO | \$1950 |
| • Curso voz sobre protocolo de internet | \$1600 |
| • Funcionamiento del reflectómetro, OTDR, etc. | \$3500 |
| • Fibra óptica: mantenimiento, medidas y empalmes | \$2500 |

Otras especializaciones en fibra óptica que deben tener los técnicos de la Corporación no se presentan actualmente en internet, pero se reserva el presupuesto descrito para sustentarlos.

Se prevé brindar mantenimiento preventivo mensual al sistema, además, pueden ocurrir daños o averías por desastres naturales, entonces se estima que se gastará \$500 mensualmente, lo cual abarca traslado, reparación y otros gastos según el caso, esto implica un gasto anual de 6.000 dólares.

5.1.9. Viabilidad del proyecto

5.1.9.1. Viabilidad técnica

Para determinar si el diseño es viable se analizará los siguientes parámetros:

a. Retardo de propagación

El retardo máximo que tendrá la propagación de información se calcula con la expresión:

$$R_p = \frac{L}{V_{NP}}$$

$$V_{NP} = \frac{c}{\eta}$$

Donde:

R_p = Retardo de propagación

V_{NP} = Velocidad nominal de propagación.

c = velocidad de la luz = 3×10^8 m/s

η = índice de refracción

L = longitud del tramo

La hoja de datos de la fibra óptica indica un valor de índice de refracción de $\eta=1.469$. Tomamos como referencia la longitud del tramo mayor del diseño, en este caso es 7.3Km correspondiente al tramo Quevedo-Matriz.

La velocidad nominal de propagación es:

$$V_{NP} = \frac{3 \times 10^8}{1.469}$$

$$V_{NP} = 2.0422 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$R_p = \frac{7300}{2.0422 \times 10^8}$$

$$R_p = 35.75 \mu\text{s}$$

b. Potencia de recepción

La potencia que se tiene en recepción debe cumplir con la condición expresada en la fórmula:

$$P_R \leq P_T - \alpha_c * N_c - \alpha * D - \alpha_e * N_e - M_e$$

$$Pérdidas\ total = \alpha_c * N_c + \alpha * D + \alpha_e * N_e + M_e$$

Donde

P_R = Potencia de recepción (dB)

P_T = Potencia de transmisión (dB)

N_c = Número de conectores y N_e = Número de empalmes

M_e = Margen de error (dB)

D = Distancia del enlace (Km)

α = Valor de coeficiente de atenuación de la fibra óptica (dB/Km)

α_c = Atenuación por conector (dB) y α_e = Atenuación por empalme (dB)

En la sección anterior ya se calcularon las pérdidas totales que se tiene en cada enlace, por lo que la expresión puede reducirse a:

$$P_R \leq P_T - Pérdidas\ total$$

El equipo que se utilizó para el diseño tiene interfaz de 10Gigabit Ethernet, los datos de potencia de transmisión y recepción que proporciona la hoja de datos son:

Potencia de transmisión (-38dB).

Potencia de recepción (-44dB).

La potencia de recepción de cada enlace se detalla en la Tabla 22.

ENLACE	DISTANCIA Km	PÉRDIDA TOTAL (dB)	POTENCIA RECEPCIÓN (dB)
MATRIZ – CENTENARIO	2,03	2,3466	-40,3466

CENTENARIO-QUITO	4,25	2,885	-40,885
QUITO-LA CADENA	6,15	3,303	-41,303
LA CADENA – QUEVEDO	4,98	3,0456	-41,0456
QUEVEDO – MATRIZ	7,3	3,556	-41,556

Tabla 22 Distancia, pérdida total y potencia de recepción de cada enlace

Como se aprecia en la Tabla, el valor menor de potencia se tiene en el enlace Quevedo-Matriz, que es de -41.556dB, este valor se toma como ejemplo para determinar la condición de potencia de recepción.

$$P_R \leq P_T - \text{Pérdidas total}$$

La potencia de recepción de la fuente ocupada en el diseño es de -44dB, entonces:

$$-44 \leq -38 - 3.556$$

$$-44 \leq -41.556$$

Con esto se puede comprobar que se tendrá un buen nivel de recepción de las señales

c. Ancho de banda

El ancho de banda de la fibra óptica está determinado por la dispersión y la longitud del enlace.

En la fibra óptica monomodo, interviene la dispersión cromática o espectral, la cual es causada por la variación de la velocidad de la luz a través de una fibra a una determinada longitud de onda.

El ancho de banda para enlaces de fibra óptica monomodo se determina con la ecuación:

$$AB = \frac{0.441}{Sc * D * \Delta\lambda}$$

Donde:

Sc= Dispersión cromática de la fibra [ps/ (nm. Km)]

D= Distancia del enlace (Km)

$\Delta\lambda$ = Ancho espectral de la fuente

Según las especificaciones de la fibra óptica, la dispersión cromática es 18ps/ (nm*Km), se asume un valor típico de un láser de 0.2nm, considerando el tramo de mayor distancia para referencia (Quevedo-Matriz, 7.3Km), tenemos:

$$AB = \frac{0.441}{18 * 7.3 * 0.2}$$

$$AB = \frac{0.441}{26.28 ps}$$

$$AB = 16.78 GHz$$

En la Tabla 23 constan los valores del ancho de banda de cada enlace.

ENLACE	DISTANCIA (Km)	ANCHO DE BANDA (GHz)
MATRIZ – CENTENARIO	2,03	60,34482759
CENTENARIO-QUITO	4,25	28,82352941
QUITO-LA CADENA	6,15	19,91869919
LA CADENA – QUEVEDO	4,98	24,59839357
QUEVEDO – MATRIZ	7,3	16,78082192

Tabla 23 Ancho de banda de cada enlace

Este resultado corresponde al ancho de banda máximo proporcionado por la fibra óptica utilizada para el presente proyecto, el cual está limitado por las características de transmisión del equipo de comunicaciones, como se determinó en el Capítulo II. El diseño se basó en el equipo XMUX4+ el cual tiene interfaz de 10Gbit Ethernet.

Con la fórmula

$$P_R \leq P_T - \alpha_c * N_c - \alpha * D - \alpha_e * N_e - M_e$$

Se puede calcular la distancia máxima y ancho de banda que nos brinda este interfaz:

El número de empalmes está determinado por la longitud del rollo de fibra óptica y se puede calcular con la formula:

$$N_e = \frac{D(Km)}{L(Km)}$$

Donde

D= Distancia del enlace en Km

L= Longitud del rollo de fibra óptica en Km

Como se tomo carretes de 4Km de referencia para el diseño, la fórmula queda de la siguiente manera:

$$N_e = \frac{D}{4}$$

Reemplazamos en la formula:

$$P_R \leq P_T - \alpha_c * N_c - \alpha * D - \alpha_e * \frac{D}{4} - M_e$$

Dejamos en un lado de la expresión los términos que contengan la variable D:

$$P_R - P_T + \alpha_c * N_c + M_e \leq -\alpha * D - \alpha_e * \frac{D}{4}$$

Cambiamos de signo a toda la expresión:

$$P_T - P_R - \alpha_c * N_c - M_e \geq \alpha * D + \alpha_e * \frac{D}{4}$$

Despejamos el término D:

$$D_{m\acute{a}x} \leq \frac{P_T - P_R - \alpha_c * N_c - M_e}{\alpha + \frac{\alpha_e}{4}}$$

Reemplazamos los valores correspondientes en la formula:

$$D_{m\acute{a}x} \leq \frac{-38 - (-44) - (0.2 * 2) - 1.5}{0.22 + \frac{0.05}{4}}$$

Reducimos la expresi3n y obtenemos el valor de distancia máxima que se puede tener de separaci3n entre enlaces o trayectos para no tener la necesidad de utilizar amplificadores.

$$D_{m\acute{a}x} \leq \frac{4.1}{0.2325}$$

$$\mathbf{D_{m\acute{a}x} \leq 17.63Km}$$

Este valor es superior a todas las distancias de los enlaces del diseño, lo cual indica que no se tendra la necesidad de regenerar la señal en ningún trayecto.

En la f3rmula:

$$\mathbf{AB} = \frac{0.441}{Sc * D * \Delta\lambda}$$

Reemplazamos el valor obtenido de distancia:

$$\mathbf{AB} = \frac{0.441}{18 * 17.63 * 0.2}$$

Reducimos términos y obtenemos el valor de ancho de banda que proporciona el mux-demux para cada canal:

$$AB = \frac{0.441}{18 * 17.63 * 0.2}$$

$$\mathbf{AB = 6.93GHz}$$

Con este valor no se tendrá problemas de transmisión pues el mayor requerimiento se tiene en el nodo Matriz, el cual tiene un tráfico de 4.1Mbps, que en diez años podría ser de 12.3Mbps.

El estándar IEEE 802.3ae para la tecnología 10Gibit Ethernet especifica el código de línea de 8B/10B de 10GBASE-LX4 por lo que se tiene una velocidad de señal de $\frac{5}{4}$ respecto a la velocidad de transmisión, aplicando el Teorema de Nyquist se tiene un ancho de banda de $\frac{5}{8}$ de la velocidad de transmisión, entonces en la matriz se tendrá un ancho de banda de 7.69MHz, este valor es menor al ancho de banda proporcionado por el equipo, por lo que el diseño es viable.

5.1.9.2. Viabilidad económica

La viabilidad económica se define mediante la comparación de los beneficios y costos del proyecto, para determinar si es recomendable su implementación y su futura operación. Un punto importante a tener en cuenta en la viabilidad económica de este proyecto es que el costo de implementación y mantenimiento del radioenlace (desarrollado en la sección 2) deben ser tomados como una inversión adicional del sistema de fibra óptica, es decir el sistema de comunicación por fibra óptica debe cubrir los gastos del radioenlace.

En la viabilidad del proyecto se utiliza cuatro indicadores de rentabilidad, estos son:

- Flujo de caja (FC)
- Valor Actual Neto (VAN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR)
- Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)

a. Flujo de caja FC

Para determinar la rentabilidad del proyecto se considera los siguientes parámetros:

- Con el fin de dar uso óptimo a los hilos de fibra óptica se pretende alquilar los hilos que no van a ser utilizados por la Corporación, estos ingresos, durante los diez años de proyección del proyecto, provienen de las mensualidades que las empresas proporcionarán a la Corporación (CNEL regional Santo Domingo), que se estima sean \$50 mensuales por kilómetro de fibra óptica, de acuerdo a referencias de empresas que alquilan hilos de fibra óptica, se considera 20 kilómetros que se pueden alquilar de cada hilo de fibra, es decir se puede considerar 200 Km de los diez hilos que se podría alquilar, en el primer año se aspira alquilar 10 Km y a partir de ello tener crecimiento lineal, como se resume en la Fig. 29.

ALQUILER DE FIBRA ÓPTICA										
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
# kilómetros	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Ingreso \$	6000	12000	18000	24000	30000	36000	42000	48000	54000	60000

Fig. 29 Alquiler de fibra óptica

- Alquiler de postes a empresas o instituciones que deseen implementar su propia fibra óptica, el costo anual de arrendamiento de un poste es de \$6, en un kilómetro se tiene en promedio 12 postes, en el primer año se considera que se alquilará postes para una distancia de 20 Km, de ahí se tendrá incremento lineal, de la forma que ilustra la Fig. 30.

ALQUILER DE POSTES					
AÑO	1	2	3	4	5
# kilómetros	20	25	30	35	40
Ingreso \$	1440	1800	2160	2520	2880

AÑO	6	7	8	9	10
# kilómetros	45	50	55	60	65
Ingreso \$	3240	3600	3960	4320	4680

Fig. 30 Alquiler de postes

- En las zonas cercanas a las instalaciones de las empresas que soliciten el arriendo de los postes, se necesitará instalar postes para cubrir las distancias que la fibra óptica necesita como mínimo de vano, por ello se prevé instalar postes como propiedad de las empresas, teniendo ingresos por poste de \$200,

en el primer año se considera que se instalarán cuatro postes, en adelante se tendrá crecimiento lineal, como muestra la Fig. 31.

INSTALACIÓN DE POSTES										
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
# Postes	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Ingreso \$	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000	4400

Fig. 31 Instalación de postes

- Como no se va a entregar servicios de internet u otros, se toma como parámetro el ahorro que proporciona el sistema de fibra óptica y radioenlace con respecto al sistema actual de la Corporación. Para determinar el ahorro que se tendrá con éste proyecto se toma en cuenta parámetros como los gastos que se producen por contrato de personal particular, mantenimiento preventivo y correctivo del sistema, necesidad que técnicos de la Corporación viajen hasta las subestaciones eléctricas para proporcionar asesoría del sistema y adquisición de equipos que soporten los servicios de video y VoIP.
- El proyecto del sistema de fibra óptica determina la capacitación del personal, con ello no se requiere el contrato de personal particular, sin embargo, por fines de seguridad se ha estimado un monto de \$400 anuales para contratar a técnicos particulares.
- En el sistema actual no se realiza mantenimiento preventivo, por ello, se producen fallas del sistema que no permiten tener la información de las subestaciones eléctricas, aproximadamente, 112 días anualmente; con el proyecto propuesto se pretende realizar mantenimiento preventivo y si existen averías del sistema por situaciones ambientales se realizará mantenimiento correctivo, estimando 6600 dólares anualmente para ello.
- Los equipos que se eligieron para el diseño, son aptos para los servicios con los que la Corporación desea contar, mientras que si se decidiera implementar esos servicios en el sistema actual se necesitaría adquirir nuevos equipos.
- Para asesorar a los técnicos de las subestaciones eléctricas se cuenta con el servicio de videoconferencia con lo que se omite gastos de transporte hacia las subestaciones.

Todo esto se resume en la Tabla 24:

FACTIBILIDAD ECONÓMICA		
DESCRIPCIÓN		TOTAL
CONTRATO PERSONAL PARTICULAR		
	ACTUAL	F. ÓPTICA
En c/daño	320	400
# Daños anuales	24	1
TOTAL	7680	400
AHORRO ANUAL		7280
AHORRO A 10 AÑOS		72800
MANTENIMIENTO		
En c/daño	1025	550
# Mant. anuales	24	12
TOTAL	24600	6600
AHORRO ANUAL		18000
AHORRO A 10 AÑOS		180000
NUEVO SW y/o ROUTER		
Precio switch	6000	0
Precio router	6500	0
TOTAL	50000	0
AHORRO A 10 AÑOS		50000
TRASLADO DE PERSONAL PARA ASESORÍA A S-E		
Cada visita	65	0
# visitas	36	0
TOTAL	2340	0
AHORRO ANUAL		2340
AHORRO A 10 AÑOS		23400
TOTAL \$		\$ 326.200

Tabla 24 Factibilidad económica

En la Tabla 25 y 26 se detalla el flujo de caja para el proyecto con los parámetros antes mencionados para diez años

FLUJO DE CAJA						
DETALLE	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Ingresos por alquiler de fibra óptica	0	6000	12000	18000	24000	30000
Ingresos por alquiler de postes	0	1440	1800	2160	2520	2880
Ingresos por instalación de postes	0	800	1200	1600	2000	2400
Costo mantenimiento	0	6600	6600	6600	6600	6600
Beneficio capacitación de personal	0	7280	7280	7280	7280	7280
Beneficio disponibilidad del sistema	0	18000	18000	18000	18000	18000
Ahorro compra nuevo sw y/o router	0	50000				
Beneficio videoconferencia	0	2340	2340	2340	2340	2340
Costo inversión radioenlace	2044,96					
Costo inversión fibra óptica	345041,8					
FLUJO DE CAJA	\$ (347.086,76)	\$ 77.020,00	\$ 33.020,00	\$ 39.020,00	\$ 45.020,00	\$ 51.020,00

Tabla 25 Flujo de caja hasta el año 5

FLUJO DE CAJA					
DETALLE	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Ingresos por alquiler de fibra óptica	36000	42000	48000	54000	60000
Ingresos por alquiler de postes	3240	3600	3960	4320	4680
Ingresos por instalación de postes	2800	3200	3600	4000	4400
Costo mantenimiento	6600	6600	6600	6600	6600
Beneficio capacitación de personal	7280	7280	7280	7280	7280
Beneficio disponibilidad del sistema	18000	18000	18000	18000	18000
Ahorro compra nuevo sw y/o router					
Beneficio videoconferencia	2340	2340	2340	2340	2340
Costo inversión					
FLUJO DE CAJA	\$ 57.020,00	\$ 63.020,00	\$ 69.020,00	\$ 75.020,00	\$ 81.020,00

Tabla 26 Flujo de caja hasta el año diez

b. Valor Actual Neto VAN

El Valor Actual Neto representa el valor de la inversión en el año cero al cual se le descuenta los ingresos y egresos a una determinada tasa, el VAN expresa las perspectivas de retorno confiadas en el proyecto mediante un monto en dólares que representa las ganancias que se podrían tomar por adelantado al emprender el proyecto considerando la tasa de corte establecido.

El VAN se calcula mediante la siguiente formula:

$$VAN = \sum_{i=0}^{10} \left[\frac{FC_t}{(1+i)^t} \right] - I_0$$

Donde

FC_t = Flujo de Caja al año t

i= tasa de rentabilidad

t= tiempo de vida del proyecto

I_0 = inversión inicial

La tasa de rentabilidad que se toma para este proyecto es del 10%, como ya se determinó anteriormente el tiempo de vida del proyecto es de 10 años y la inversión inicial del proyecto es de \$347.086,76.

$$VAN = \sum_{i=0}^{10} \left[\frac{FC_t}{(1+0.1)^t} \right] - 347.086,76$$

$$VAN = 1.583,67$$

El valor positivo del VAN significa que el proyecto genera más efectivo del necesario para rembolsar el capital invertido y está en condiciones de tener una rentabilidad del 10% generando excedentes de 1.583,67 dólares con lo que se beneficia la Corporación.

c. Tasa Interna de Retorno TIR

El TIR es la tasa de interés efectiva que proporciona la inversión en el proyecto, es la máxima tasa que se puede pagar por un proyecto. La fórmula con la que se calcula el TIR es:

$$0 = \sum_{i=0}^{10} \left[\frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \right] - I_0$$

$$0 = \sum_{i=0}^{10} \left[\frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \right] - 347.086,76$$

$$TIR = 10\%$$

El valor del TIR es igual a la tasa de rentabilidad esperada lo que refleja que el proyecto es viable y rentable para la Corporación.

d. Periodo de Recuperación de la Inversión PRI

El PRI es un indicador que mide la liquidez y riesgo relativo del proyecto, permite anticipar los eventos en corto plazo.

$$PRI = \text{Año anterior a recuperación total} + \frac{\text{Costo no recuperado a inicio del año}}{\text{Flujo de caja durante el año}}$$

Para determinar el año anterior a la recuperación total se suman los valores de flujo de caja desde el año cero hasta obtener un valor positivo, así

$$\begin{aligned} & -347086,76 + 77020 + 33020 + 39020 + 45020 + 51020 + 57020 \\ & + 63020 = 18.053,24 \end{aligned}$$

El valor se hizo positivo al año siete, por lo que el año anterior a la recuperación total es el año sexto.

El costo no recuperado a inicio del sexto año es:

$$\begin{aligned} & -347086,76 + 77020 + 33020 + 39020 + 45020 + 51020 + 57020 \\ & = -44.966,76 \end{aligned}$$

El flujo de caja durante el año de recuperación de la inversión (séptimo año) es 63.020

$$PRI = 6 + \frac{44966.76}{63020}$$

$$PRI = 6 + 0.7135 = 6.7135$$

El flujo de caja expresa indicadores de rentabilidad óptimos para el proyecto, la inversión que se requiere para implementar el proyecto se recuperaría en seis años ocho meses diecisiete días, los flujos que se tendrá en ese tiempo será superior al costo de la inversión.

El proyecto presenta gran rentabilidad por lo que el retorno de la inversión es óptimo y cubre las expectativas de la inversión.

5.1.10. Tiempo de operación del sistema de fibra óptica

Para determinar en qué tiempo el sistema estará funcionando correctamente, se analiza parámetros como tiempo de estudio, tendido de la fibra óptica, instalación y configuración de los equipos en cada nodo, pruebas de funcionamiento, entre otros.

Todo esto se presenta en la Tabla 27

TIEMPO DE OPERACIÓN		
PARÁMETRO		TOTAL (Horas)

Estudio		160
	CADA KILÓMETRO	
Tendido de la fibra	6	150
	CADA TRAYECTO	
Ubicación de carretes, herrajes, etc.	40	200
	CADA NODO	
Instalación de la fibra hasta cuarto de equipos	8	40
Conexión y ubicación de equipos en el rack	16	80
Configuración de equipos	16	80
Pruebas de funcionamiento		160
Otros		40
	TOTAL	
	Horas	910
	Días	113.75
	Aproximadamente	5 meses 14 días

Tabla 27 Tiempo de operación del sistema de fibra óptica

Como se observa en la tabla el tiempo que se requiere para que el proyecto funcione correctamente es cinco meses catorce días.

De acuerdo a lo analizado, el proyecto es viable técnica y económicamente. El proyecto genera más efectivo del que se necesita para reembolsar la inversión y recuperarla en un periodo de 6,71 años.

5.2. DISEÑO DEL RADIOENLACE ENTRE LAS SUBESTACIONES EL CARMEN Y EL ROCÍO

5.2.1. Descripción

La subestación El Rocío no forma parte del sistema de fibra óptica porque está ubicado en una zona donde ninguna empresa tiene instalada fibra óptica, si se decide instalar, el costo será muy elevado, ya que la única opción válida de instalación es mediante tendido aéreo por las líneas de alta tensión con cable OPGW, el cual tiene alto costo. Una solución óptima ante este inconveniente es realizar un radioenlace con la Subestación El Carmen, así, se tiene un sistema con bajo presupuesto.

Los requerimientos de potencia de las antenas no serán elevados pues las dos subestaciones tienen corta distancia de separación y, como la Subestación El Carmen se conectará mediante fibra óptica con la matriz CNEL regional Santo Domingo, la información de la Subestación El Rocío llegará a la matriz de forma rápida y segura. Este sistema será desarrollado con la tecnología Spread Spectrum ya que nos permite tener mayor inmunidad frente a diferentes tipos de ruido, mayor protección en la información, entre otras ventajas que se describirán más adelante.

La ingeniería de microondas tiene que ver con dispositivos, componentes y sistemas que trabajen en el rango de frecuencia de 300 MHz a 300 GHz. Debido a tan amplio margen de frecuencias, tales componentes encuentran aplicación en diversos sistemas de comunicación, por ejemplo enlace de Radiocomunicaciones terrestre, sistemas de comunicación por satélite, sistemas radar y sistemas de comunicación móviles.

5.2.2. Requerimientos

Los requerimientos principales para el diseño del enlace inalámbrico son:

- El sistema debe ser apto para incrementar su capacidad y soportar los servicios que se tendrá a futuro sin necesidad de aumentar equipos o rediseñar el enlace inalámbrico.
- Trabajar con una frecuencia de 5.8GHz.
- Los equipos que se utilice deben ser aptos para la tecnología y aplicaciones requeridas y otras que se tenga en futuro.
- El diseño debe fundarse en un estudio topológico de la zona.

5.2.3. Criterios técnicos de diseño

Los aspectos que serán analizados en el diseño son:

- Determinación de coordenadas geográficas.
- Frecuencia de trabajo.
- Determinación de la longitud del enlace.
- Corrección del perfil del terreno.
- Cálculo de la primera Zona de Fresnell.
- Cálculo de atenuaciones.
- Determinación de intensidad de campo en recepción.
- Cálculo del punto de reflexión.
- Potencia de recepción.

5.2.3.1. Determinación de las coordenadas geográficas

Las coordenadas de las Subestaciones El Rocío y El Carmen se describen en las Tablas 28 y 29 respectivamente.

- Subestación El Rocío

LONGITUD	LATITUD	ALTURA
79°29'12.1617''O	0°22'51.7945''S	218m

Tabla 28 Coordenadas y altura de la Subestación El Rocío

- Subestación El Carmen

LONGITUD	LATITUD	ALTURA
79°26'48.9114''O	0°16'24.4338''S	260m

Tabla 29 Coordenadas y altura de la Subestación El Carmen

5.2.3.2.Frecuencia de trabajo

La frecuencia con la que se realizará el diseño es 5.8GHz, que es una frecuencia libre, de esta manera se logrará reducción de costos, el arrendamiento de frecuencias es muy costoso.

5.2.3.3.Longitud del enlace

La longitud de separación entre las subestaciones eléctricas El Rocío y El Carmen se puede determinar con la formula:

$$d = \sqrt{(\Delta Long * 111.32)^2 + (\Delta Lat * 111.32)^2 + (\Delta h)^2}$$

Donde:

Δh = Diferencia de alturas de Tx y Rx en Km.

$\Delta long$ y $\Delta Lat.$ = Diferencia entre longitudes y latitudes respectivamente en grados.

Distancia entre Subestación El Rocío y Cerro Los Libres

$$d = \sqrt{\begin{aligned} &((79.486712 - 79.44692) * 111.32)^2 + \\ &+ ((0.38105 - 0.27345) * 111.32)^2 + (0.26 - 0.218)^2 \end{aligned}}$$

$$d = \sqrt{(4.429645)^2 + (11.978032)^2 + (0.042)^2}$$

$$d = \sqrt{163.1471}$$

$$d = 12.77Km$$

5.2.3.4. Corrección del perfil del terreno

Para realizar la corrección del perfil del terreno es necesario sumar, a las alturas tomadas de las cartas topográficas, la altura de abultamiento, para ello se toman alturas cada dos kilómetros desde el transmisor hacia el receptor, la expresión para el cálculo del abultamiento es:

$$h_{ab}(m) = \frac{d_1(Km) \times d_2(Km)}{17}$$

Donde

h_{ab} = Altura de abultamiento en cualquier punto

$$d_2 = d - d_1$$

d = longitud del tramo

d_1 = distancia tomada cada 2 Km durante todo el trayecto

Como ejemplo se calcula la altura de abultamiento cuando $d_1 = 2Km$

$$h_{ab}(m) = \frac{2 * 10.77}{17}$$

$$h_{ab}(m) = 1.2671$$

Los resultados de las distancias restantes se resumen en la Tabla 30.

Como ya se mencionó, la altura corregida (h_c) se obtiene sumando las alturas tomadas cada dos kilómetros y la altura de abultamiento antes calculada, así:

$$h_c(m) = h_1 + h_{ab}$$

$$h_c = 214 + 1.2671$$

$$h_c(m) = 215.2671$$

5.2.3.5. Cálculo de la primera Zona de Fresnell

La primera zona de Fresnell se calcula con la fórmula:

$$r_{F1}(m) = 31.62 * \sqrt{\frac{\lambda (m) * d_1(Km) * d_2(Km)}{d(Km)}}$$

$$\lambda = c/f$$

r_{F1} = radio de la primera zona de Fresnell

c = velocidad de la luz ($3 * 10^8$ m/seg)

f = frecuencia

λ = longitud de onda

Debido a que el cálculo de cada zona de Fresnell es extenso, solo se determina un dato cuando $d_1=2Km$

Primero se debe calcular el valor de la longitud de onda para la frecuencia de 5.8GHz.

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 m/s}{5.8 \times 10^9 Hz}$$

$$\lambda = 0.0517m$$

El radio de la primera zona de Fresnell es:

$$r_{F1}(m) = 31.62 * \sqrt{\frac{0.0517 * 2 * 10.77}{12.77}}$$

$$r_{F1}(m) = 31.62 * 0.2953$$

$$r_{F1} = 9.3398m$$

Los resultados de la primera zona de Fresnell para los valores restantes se especifican en la Tabla 30.

Distancia1	Distancia 2	Abultamiento	Altura	Corregida	1 Zona de Fresnell
0	12,77	0,000	218	218,000	0
2	10,77	1,267	214	215,267	9,3398
4	8,77	2,064	228	230,064	11,9191
6	6,77	2,389	200	202,389	12,8257
8	4,77	2,245	200	202,245	12,4313
10	2,77	1,629	242	243,629	10,5914
12,77	0	0,000	260	260,000	0

Tabla 30 Resultados de abultamiento, altura corregida y 1^{ra} Zona de Fresnell

Una vez calculada la primera zona de Fresnell se puede calcular las atenuaciones que se producen en el enlace.

5.2.3.6. Cálculo de atenuaciones

5.2.3.6.1. Atenuación en el Espacio Libre

$$\alpha_{el}(dB) = -32.44 - 20 \log f (MHz) - 20 \log D(Km)$$

$$\alpha_{el}(dB) = -32.44 - 20 \log 5800 - 20 \log 12.77$$

$$\alpha_{el} = -129.832dB$$

5.2.3.6.2. Atenuación por absorción.

$$\alpha_{abs} = \gamma_{lluvia} * d + \gamma_{neblina} * d$$

α_{abs} = Atenuación por absorción

γ = Coeficiente de absorción

$$\gamma_{lluvia} = 0.05 \frac{dB}{Km}$$

$$\gamma_{neblina} = 0.032 \frac{dB}{Km}$$

d = longitud del tramo

Tomar en cuenta que atenuación por lluvia se considera en alturas entre 2200 y 2900 metros de altura y atenuación por neblina alturas mayores a 2900 metros.

Debido a que el enlace no supera los 300m de altura, no afecta la atenuación por lluvia y neblina.

Si la zona de Fresnell se encuentra despejada por lo menos 0.6 y el índice de refracción es menor o igual a 0.2 se considera propagación en el espacio libre. Para ello se necesita el perfil del terreno entre las estaciones y el cálculo de las pérdidas en el espacio libre.

Con el simulador RADIO MOBILE se puede obtener la gráfica de la zona de Fresnell con datos aproximados a los calculados, el perfil del terreno que se obtiene con este simulador se presenta en la Fig. 32.

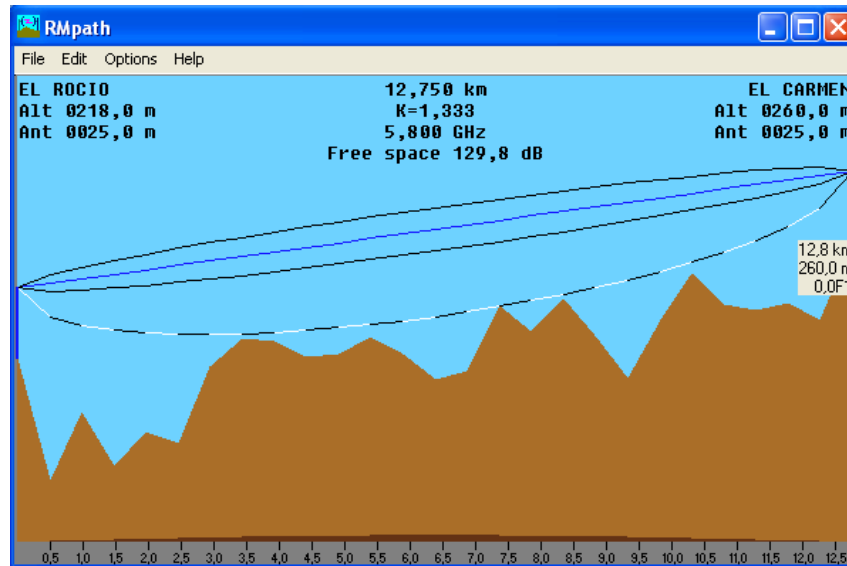


Fig. 32 Perfil del terreno obtenido se Radio Mobile

Como se observa en la Fig. 32, la zona de Fresnell no está obstruida, lo que facilita el enlace entre las subestaciones eléctricas, en este momento lo importante es que los equipos que se vayan a escoger sean apropiados para tener buen nivel de recepción.

5.2.3.7. Selección de los equipos para el radioenlace

Un radioenlace está compuesto por los equipos de transmisión, de recepción y el medio de propagación o canal aéreo entre transmisor y receptor.

El transmisor modula las señales a la frecuencia que se utilice para la transmisión, el receptor capta las señales emitidas y las convierte nuevamente en señales digitales.

Los parámetros de importancia de algunos equipos transmisor/receptor se presentan en la Tabla 31 la cual facilitará la decisión de escoger el que mejores características presente.

La antena que se vaya a utilizar en el enlace debe tener un buen valor de ganancia, para ello se presenta la Tabla 32 con ejemplos de antenas de diferentes proveedores para escoger la que mejores características brinde.

Analizando las características de los equipos y antenas descritos en la Tabla 31 y 32 respectivamente, se puede determinar que el equipo que brinda excelentes características para el proyecto es LOBO MIURA PRO, mientras que la antena que se escoge es la de POYNTING ANTENNAS (PTY) LTD ya que tiene un valor excelente de ganancia.

PROVEEDOR	SENAO	LOBOMETRICS	PROXIM WIRELESS
EQUIPO	ENGENIUS EOC 8610s	LOBO MIURA PRO	TSUNAMI QB-8100
FRECUENCIA	5.725~5.825GHz	4.9-6.1 GHz/2.312-2.732 GHz	4,9-6,0 GHz
POTENCIA DE TRANSMISION	15dBm	18dBm	18dBm
INTERFAZ			Gigabit Ethernet / WORP (WirelessOutdoorRouterProtocol)
TECNICA DE MODULACION	OFDM con 64-QAM (54Mbps)		OFDMwithBPSK,QPSK,QAM16,QAM64
SENSIBILIDAD	(-70dBm)	(-75dBm)	(-87dB)
VER			10^-6
OTRAS CARACTERISTICAS	Protocolo de acceso al medio CSMA/CA Precio \$210	802,11a/b/g Precio \$475	Aplicaciones de voz, datos y video Precio \$2.500

Tabla 22 Equipos de los proveedores SENAO LOBOMETRICS y PROXIM WIRELESS

	ANTENA	
PROVEEDOR	POYNTING ANTENNAS (PTY) LTD	HYPERLINK TECHNOLOGIES
MODELO	Antena de rejilla	Antena Grilla
FRECUENCIA	5-6 GHz	5725-5850 MHz
GANANCIA	31 dBi	27 dBi
POLARIZACION	HORIZONTAL o VERTICAL	HORIZONTAL o VERTICAL
IMPEDANCIA	50 Ohm	50 Ohm
MAX POTENCIA DE ENTRADA	-----	100watts
PESO	7.26 lbs	5,3 lbs
DIMENSIONES	900 x 700mm	400 x 600mm
CONECTOR	RG 58 N	N- Femenino
PRECIO	\$99	\$110

Tabla 32 Antenas de los proveedores QPCOM y HYPERLINK TECHNOLOGIES

5.2.3.8. Determinación de intensidad de campo en recepción.

La intensidad de campo en el espacio libre se determina con la formula:

$$E_0(dBu) = 74.7 + P_{tx}(dB) + G_{tx}(dB) - 20 \log d (Km)$$

E_0 = Intensidad de campo

P_{tx} = Potencia de transmisión (dato)

G_{tx} = Ganancia de transmisión

Como se observa en la formula, es necesario extraer los datos de los equipos seleccionados para poder determinar la intensidad de campo en recepción. Para el diseño se tiene:

Potencia de transmisión: 18dBm

Ganancia de transmisión de la antena: 31dBi

$$E_0(dBu) = 74.7 - 12 + 31 - 20 \log 12.77$$

$$E_0(dBu) = 88.741$$

5.2.3.9. Cálculo del punto de reflexión

El punto de reflexión se puede apreciar de mejor manera en la Fig. 33:

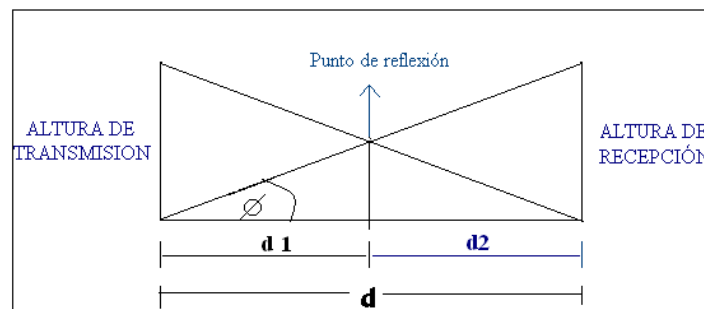


Fig. 33 Punto de reflexión

$$d = d_1 + d_2$$

Para que no haya atenuación por reflexión se debe cumplir:

$$\frac{D}{U} \leq 10 \text{ dB}$$

D= Rayo directo

U= Rayo reflejado

$$U = \sqrt{d^2 + H_{rx}^2}$$

$$D = \sqrt{d^2 + H^2}$$

Para determinar el rayo directo y reflejado se pueden presentar dos situaciones; si la altura del transmisor es mayor que del receptor, guiarse en la Fig. 34 a; por lo contrario, si la altura mayor es de recepción, entonces guiarse en las Fig. 34 b.

El rayo reflejado es la hipotenusa del triángulo formado entre transmisor y receptor, este triángulo se construye formando una nueva referencia de tierra con la menor altura (receptor o transmisor). H_{rx} es la diferencia de altura entre transmisor y receptor, y d es la distancia entre transmisor y receptor.

$$H_{rx} = |\text{altura de transmisión} - \text{altura de recepción}|$$

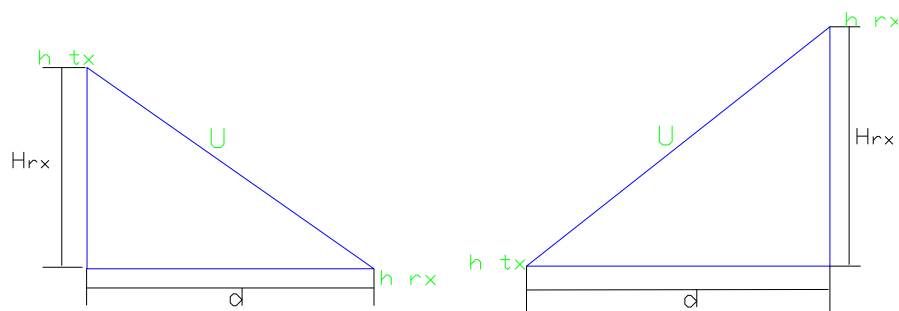


Fig. 34 a

Fig. 34 b

Para este proyecto se presenta la situación de la Fig. 34 b, como ya se había descrito anteriormente, la altura de transmisión (Subestación El Rocío) es de 218 metros y de recepción (Subestación el Carmen) es de 260 metros, la diferencia de altura entre transmisor y receptor es de 42 metros, como se observa en la Fig. 35.

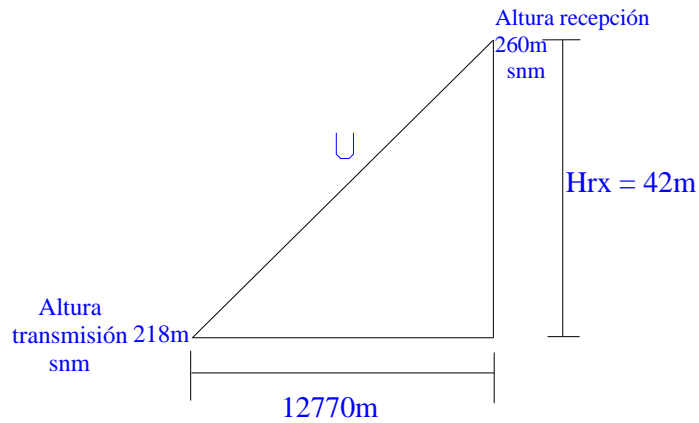


Fig. 35 Rayo reflejado

El rayo reflejado se obtiene remplazando los valores en la formula anterior:

$$U = \sqrt{12770^2 + 42^2}$$

$$U = \sqrt{163074664}$$

$$U = 12770.0691$$

El triángulo del rayo directo se forma por:

$$H = H_{\text{antena tx}} + H_{\text{antena rx}} + H_{\text{rx}}$$

La ilustración de esto se encuentra en la Fig. 36 literales a y b:

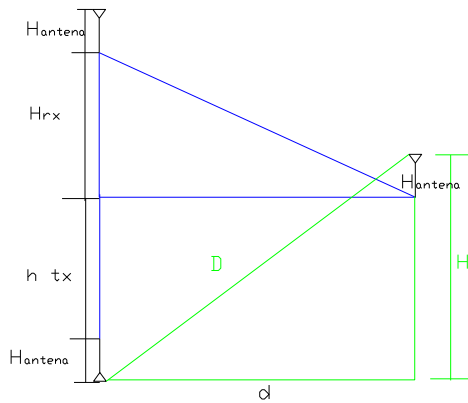


Fig. 36 a

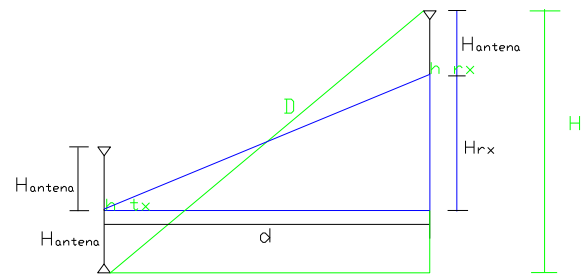


Fig. 36 b

El caso correspondiente al proyecto es el de la Fig. 36 b, la altura de la antena transmisora y receptora es de 25 metros, teniendo 92 metros como valor de H, similar a lo ilustrado en la Fig. 37

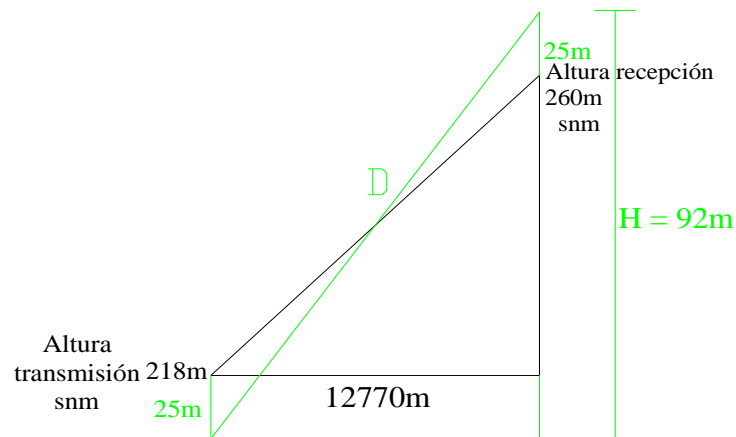


Fig. 37 Rayo directo

Reemplazando los valores en la formula se tiene:

$$D = \sqrt{12770^2 + 92^2}$$

$$D = \sqrt{163081364}$$

$$D = 12770.3314$$

Una vez calculado el rayo directo y reflejado, se puede comprobar si se cumple con la condición de reflexión.

$$\frac{D}{U} \leq 10 \text{ dB}$$

$$\frac{12770.3314}{12770.0691} \leq 10 \text{ dB}$$

$$1.00002054 \leq 10 \text{ dB}$$

$$0.000092 \text{ dB} \leq 10 \text{ dB}$$

Si se cumple con la condición, por ende la reflexión no afecta en el enlace.

5.2.3.10. Potencia de recepción

La potencia de recepción se determina con la formula:

$$P_{rx} = P_{tx}(\text{dB}) + G_{tx}(\text{dB}) + G_{rx}(\text{dB}) - 2.44 - 20 \log F (\text{MHz}) - 20 \log d (\text{Km})$$

Donde:

P_{rx} = Potencia de recepción en dBm

P_{tx} = Potencia de transmisión = -12 dB

G_{tx} = Ganancia de la antena de transmisión = 31dB

G_{rx} = Ganancia de recepción = 31 dB

F = Frecuencia de trabajo = 5800 MHz

Remplazando se obtiene:

$$P_{rx} = -12 + 31 + 31 - 2.44 - 20 \log 5800 - 20 \log 12.77$$

$$P_{rx} = -49.832 \text{ dBm}$$

5.2.4. Desarrollo en programa de simulación

Con el fin de apoyar los resultados obtenidos en el estudio del radioenlace, se utiliza un simulador de radioenlaces, de esta forma se obtendrá graficas y datos adicionales a los calculados en las secciones anteriores. El programa que se utilizó fue el simulador RADIO MOBILE, su funcionamiento y configuración necesaria para determinar un radioenlace se describe a continuación.

5.2.4.1. Simulador RADIO MOBILE

RADIO MOBILE es un programa gratuito que entre sus funciones predice el comportamiento de sistemas radio, simula radioenlaces y proporciona la zona de cobertura de una determinada red.

5.2.4.1.1. Configuraciones

El icono del programa es similar al de la Fig. 38.

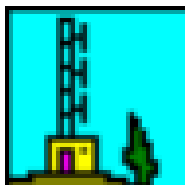


Fig. 38 Ícono de Radio Mobile

Al abrir el programa se observa un ejemplo de mapa creado por defecto, los pasos a seguir para configurar el simulador se puede resumir de la siguiente forma:

- a. Acceder a la opción File/New Networks, igual a la Fig. 39, aceptar en el mensaje borrar la información de otras redes.

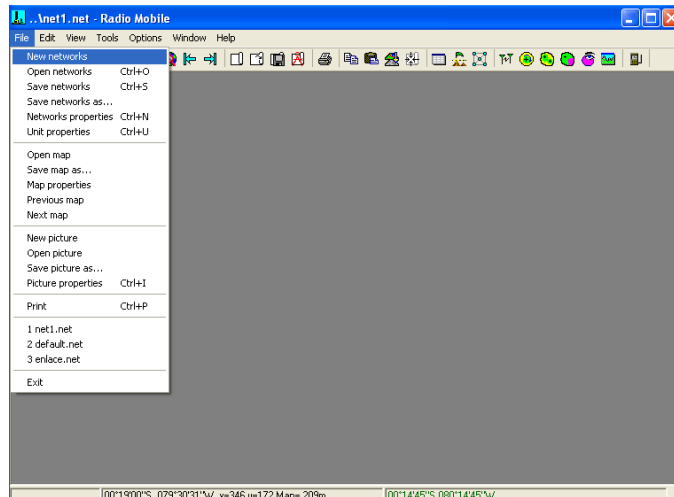


Fig. 39 Inicialización de Radio Mobile

- b. Para abrir el mapa de interés es necesario descargar los mapas SRTM de internet, para mayor facilidad se sugiere descargarlos y guardarlos en un archivo local de la computadora, sin embargo RADIO MOBILE proporciona opciones de acceder a internet para obtenerlos. Para ello acceda a Options/Internet y se ejecuta una nueva ventana. En la opción SRTM se muestran tres opciones para los mapas, si aun no tiene los mapas elija la opción **Download from Internet if a file is not found on local path and keep a local copy** y especifique la ubicación donde desea que se guarden, si ya los tiene utilice la opción **Use local files only** y especifique la ubicación donde los ha guardado, de forma similar a la Fig. 40.

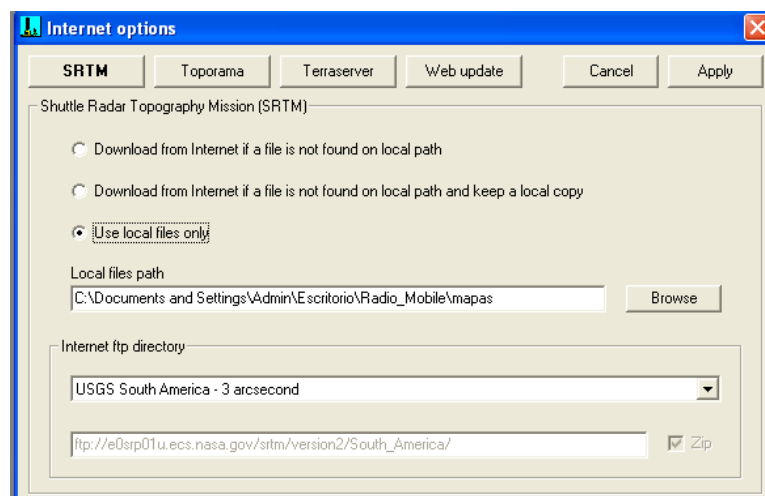


Fig. 40 Configuración de los mapas SRTM

- c. Luego acceda a **Option/Elevation data** y escoja la opción **Use elevation data in memory generated by Map Properties**. La ventana que aparece es igual a la Fig.41.

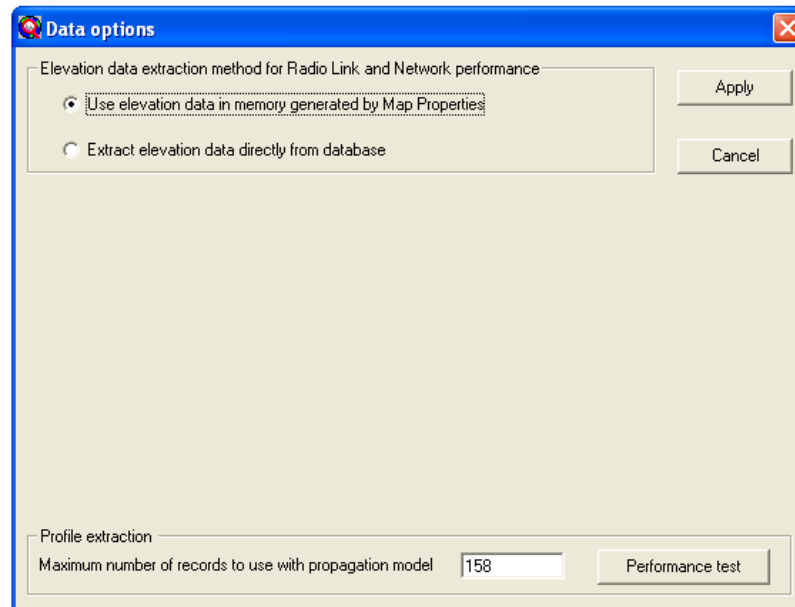


Fig. 41 Configuración del método de extracción de los datos de elevación

Una vez configurado esos parámetros se puede acceder al mapa de interés.

5.2.4.1.2. Creación de Mapas de elevación

Para crear un mapa acceda a File/Map properties, en la ventana que se ejecuta se debe especificar la ubicación donde se han guardado los mapas en Elevation data source escoja SRTM y el path donde se han ubicado los mapas, habilite la opción Ignore missing files.

La ventana de propiedades del mapa es similar a la Fig. 42.

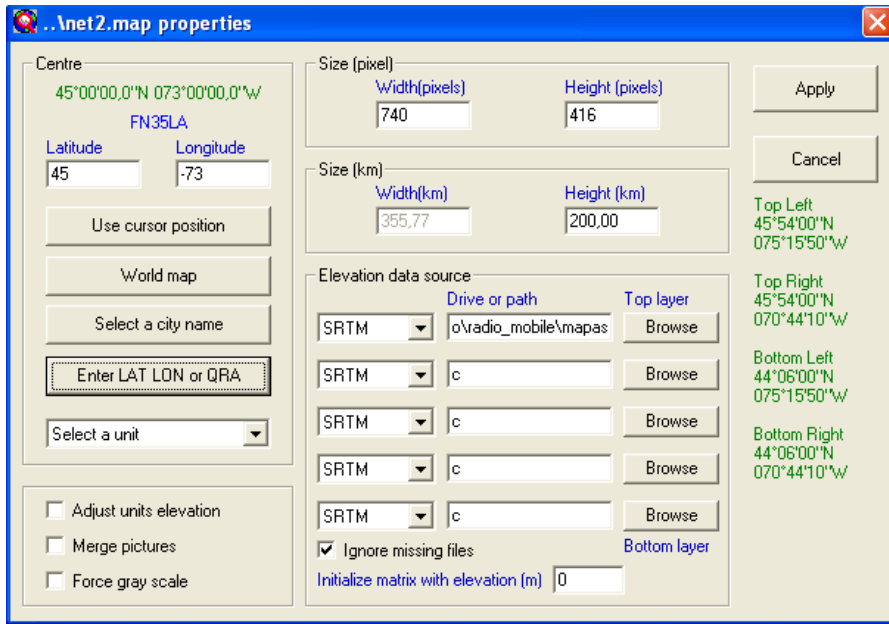


Fig. 42 Ventana de Propiedades del mapa

Para acceder al mapa del sitio de interés puede acoger la opción select a city name o enter LAT LON or QRA para introducir manualmente las coordenadas del mapa, tal como se muestra en la Fig. 43, las coordenadas deben ser del centro de la región de trabajo

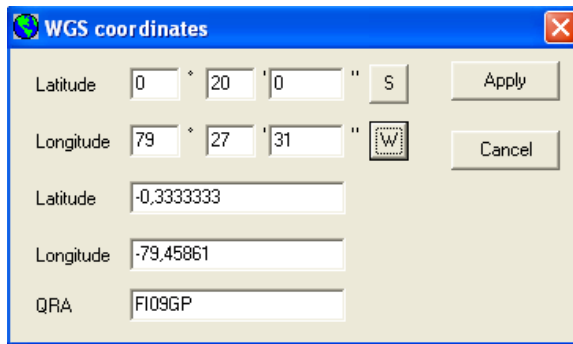


Fig. 13 Coordenadas del centro de la región de trabajo

Acepte todos los cambios y se crea el mapa de la zona de interés, el mapa de la zona para el enlace entre las subestaciones eléctricas antes mencionadas es la que se muestra en la Fig. 44.

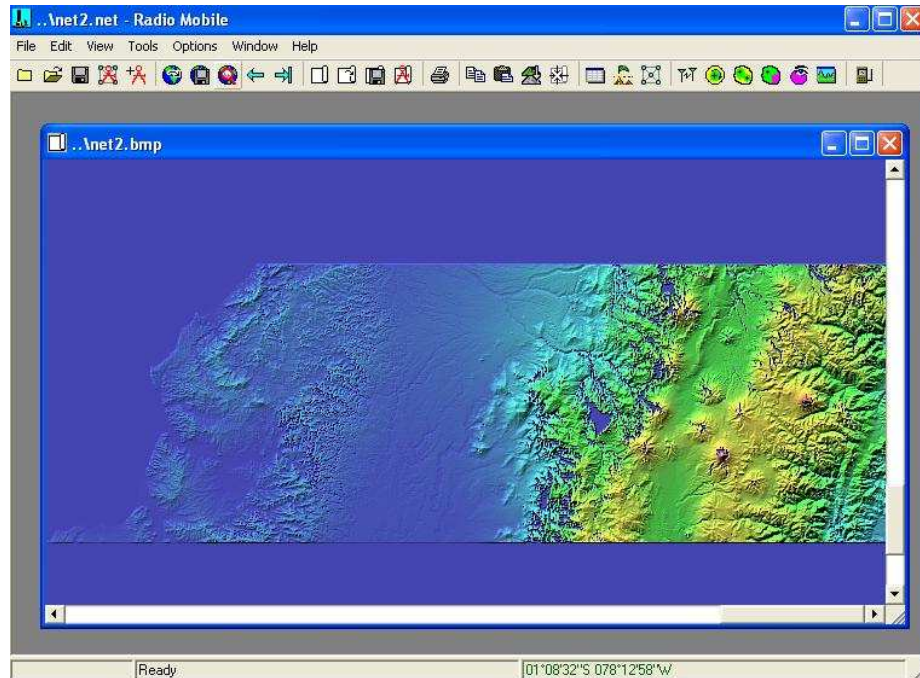


Fig. 44 Mapa de la zona de trabajo

5.2.4.1.3. Creación y configuraciones de una red

Para crear una red es necesario determinar los parámetros de propagación y la topología, para ello seleccione File/Network properties.

Primero se debe determinar los parámetros de la red en la opción **Parameters**, en esta sección realice lo siguiente:

- a. Establezca un nombre para la red.
- b. Determine Frecuencia de trabajo: el programa trabaja con la frecuencia central del rango que especifique. Para el enlace entre El Rocío y El Carmen se ha trabajado con una frecuencia de 5.8GHz.
- c. Fije la polarización: escoja entre las opciones horizontal o vertical. Para este enlace se escoge polarización vertical.
- d. Precise el modo de variabilidad: Le ofrece cuatro opciones, con la opción **Spot** el programa intenta una sola vez enviar un mensaje en la simulación, **Accidental** evalúa interferencias; **Broadcast** es para unidades estacionarias

y **Mobile** para comunicaciones móviles. Para el enlace se utiliza la opción **Accidental**.

- e. Perdidas adicionales: depende de la zona en la que esté trabajando, si es ciudad o bosque. Para este caso se escoge la opción **City**.
- f. Si no conoce los valores de conductividad del suelo, refractividad de la superficie y permitividad relativa del suelo, deje los valores por defecto.
- g. Clima: especifique que tipo de clima tiene la zona de interés.

Los datos necesarios para el enlace de estudio en la sección Parameters se pueden observar en la Fig. 45.

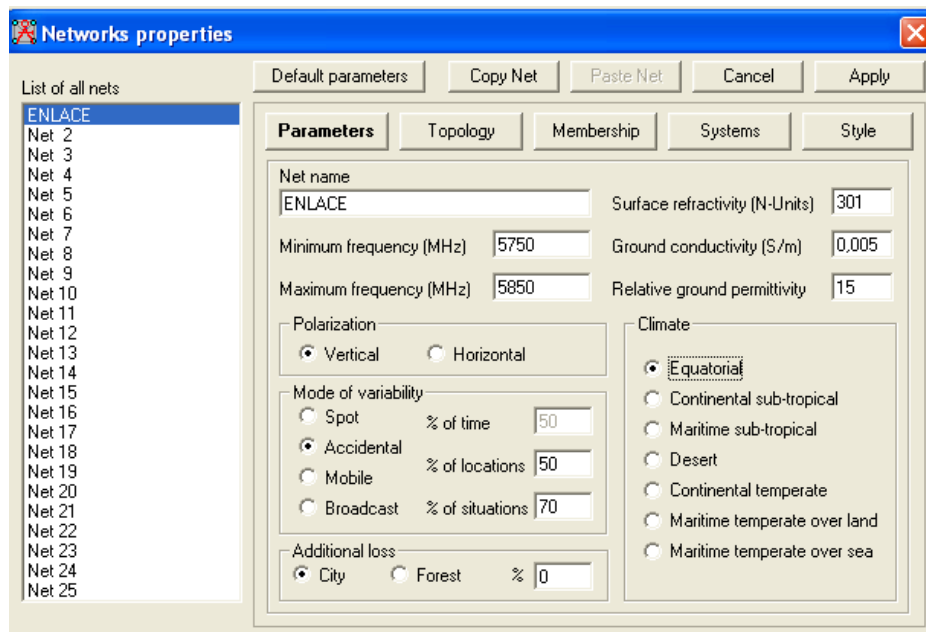


Fig. 45 Configuración de las propiedades de la red

Una vez determinado los esos parámetros, se debe escoger la topología, presentado en la opción **Topology**.

Las opciones que se presentan son:

- a. **Voice net** (Command/Subordinate/Redbroadcast). Comunica las unidades de mando con las unidades subordinadas pero no las unidades subordinadas entre sí.

- b. **Data net, star topology** (Master/slave). Para redes de datos en las que las unidades “maestro” se comunican con las unidades “esclavo” pero no hay enlaces entre las unidades “esclavo”.
- c. **Data net, cluster**. Para redes de datos con nodos que pueden retransmitir datagramas

Para el enlace se escoge la opción **Data net, cluster** como se aprecia en la Fig. 46.

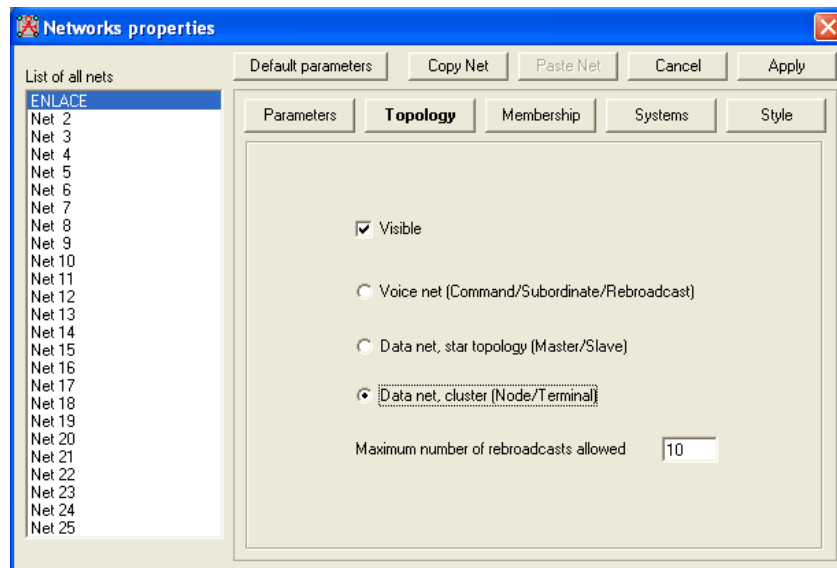


Fig. 46 Selección de la Topología

5.2.4.1.4. Configuración de sistemas

Acceda a **File/Network properties** opción **Systems**.

Para configurar esta sección es necesario obtener los datos de las hojas de especificaciones de los equipos que se han escogido para el enlace. Nombre cada sistema y determine los valores de potencia de transmisión, sensibilidad del equipo, ganancia de la antena, pérdidas en la línea y altura de la torre de la antena.

En la Fig. 47 se presenta los datos de El Carmen, como ejemplo de los parámetros que se requieren en esta sección ya que los datos son similares para ambas estaciones.

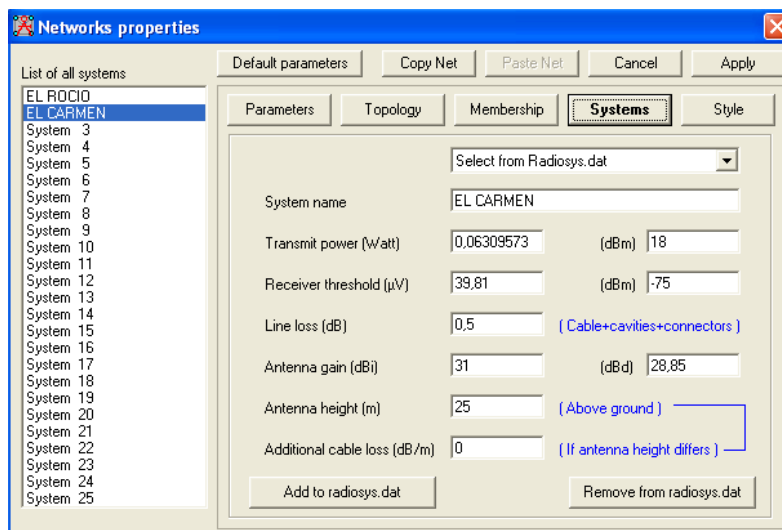


Fig. 47 Especificaciones del sistema para la Subestación el Carmen

5.2.4.1.5. Propiedades de las unidades radio

Las unidades representan las estaciones donde se ubicarán los equipos, para configurar sus ubicaciones y características seleccionar File/Units properties.

Especificar los nombres y coordenadas de cada unidad.

La Fig. 48 contiene los datos de la unidad El Rocío, la cual tiene una elevación de 218 metros y sus coordenadas geográficas son: Latitud: 0°22'51.8''S; Longitud: 79° 29'12.2'' W.

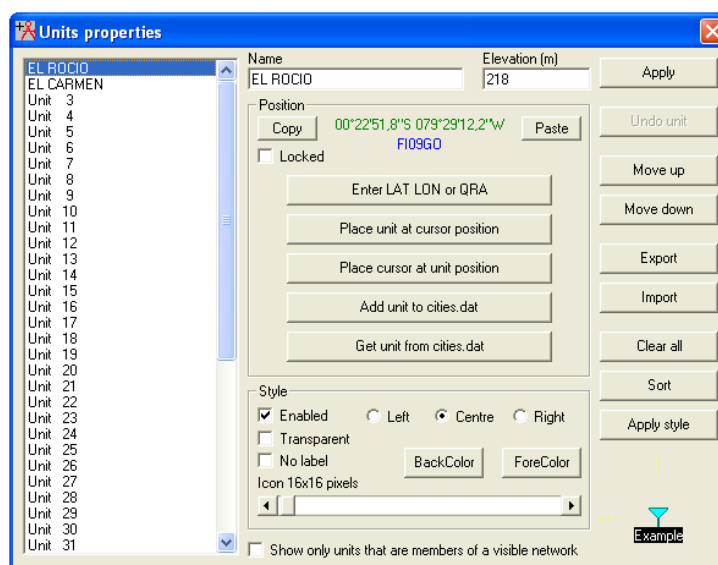


Fig. 48 Coordenadas y elevación de la unidad El Rocío

La Fig. 49 contiene los datos de la unidad El Carmen, la cual tiene una elevación de 260 metros y sus coordenadas geográficas son: Latitud: 0°16'24.4''S; Longitud: 79° 26'48.9'' W.

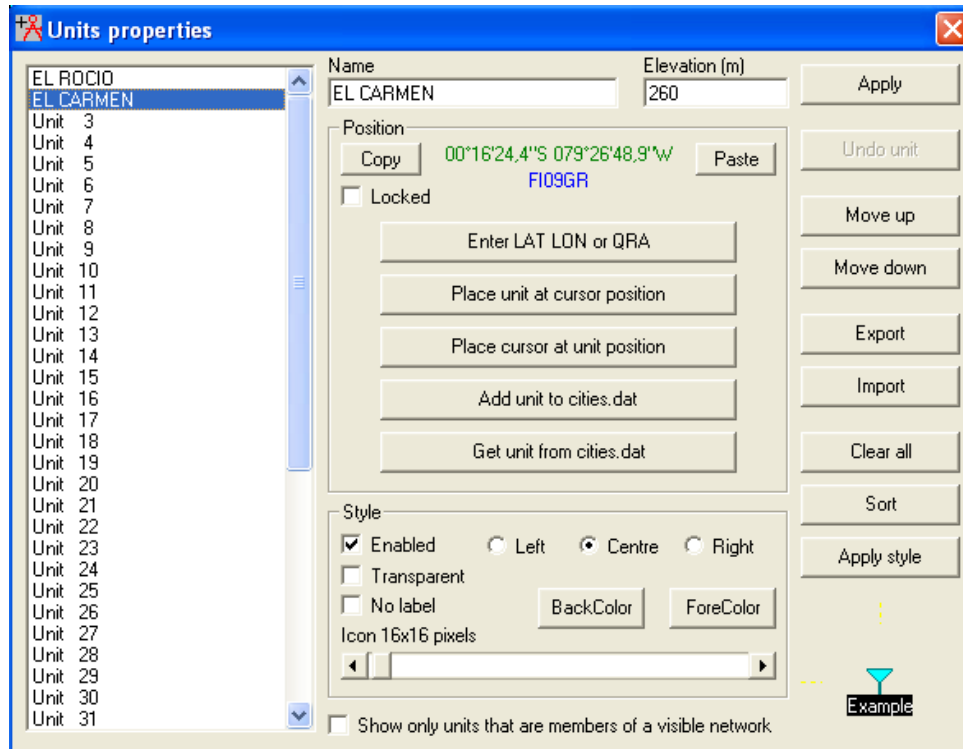


Fig. 49 Coordenadas y elevación de la unidad El Carmen

Al aceptar aparecen las unidades en el mapa y se puede continuar con el programa.

5.2.4.1.6. Asociación de las unidades a la red

Una vez creadas las unidades se agrupan a la red que se configuró anteriormente, seleccione File/Network properties/ Membership.

Seleccione la red que creó y active las casillas de las unidades que van a pertenecer a esa red.

La Fig. 50 muestra las unidades pertenecientes a la red ENLACE, que son El Rocío y El Carmen.

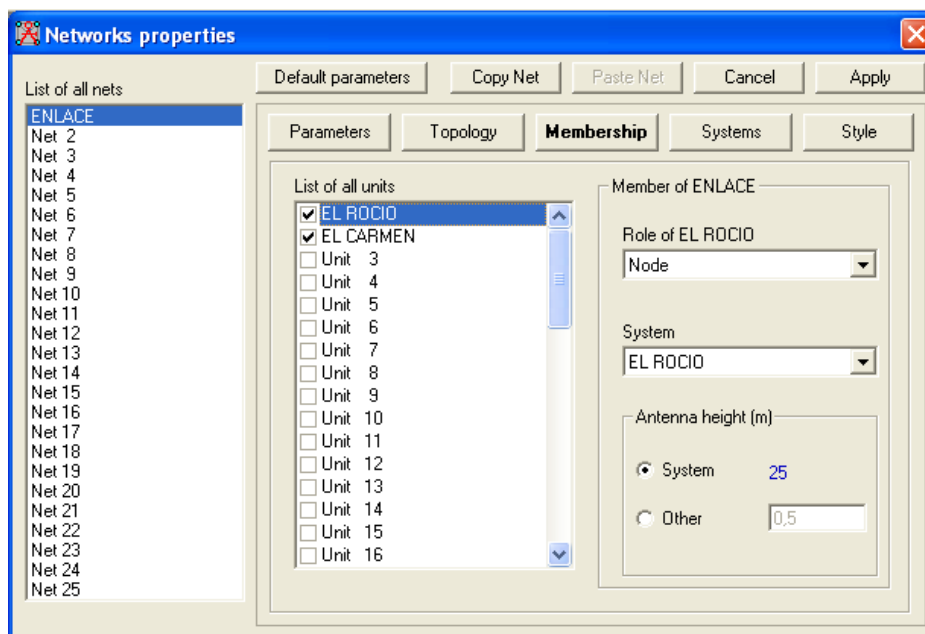


Fig. 50 Unidades pertenecientes a la red ENLACE

5.2.4.1.7. Establecimiento del radioenlace

Para establecer el enlace acceda a Tools/radio link y aparece el enlace creado.

En la Fig. 51 se aprecia el enlace entre El Rocío y El Carmen, el cual no tiene interferencias y presenta valores mayores de 3dB de señal de recepción (líneas verdes).

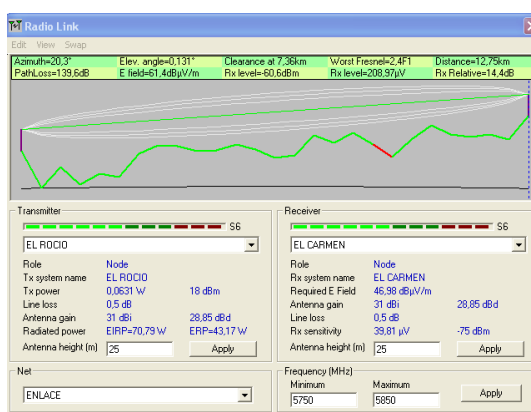


Fig. 52 Radioenlace entre El Rocío y El Carmen

Las líneas de color verde representan a enlaces cuya señal de recepción es igual o superior a 3dB, si aparece una línea de color amarillo significa que la señal de

recepción esta en el rango de 3dB y -3dB, el último caso es una línea de color rojo que significa que la señal de recepción es inferior a -3dB. Esto esta especificado en File/Networks properties/Style, como se muestra en la Fig. 52

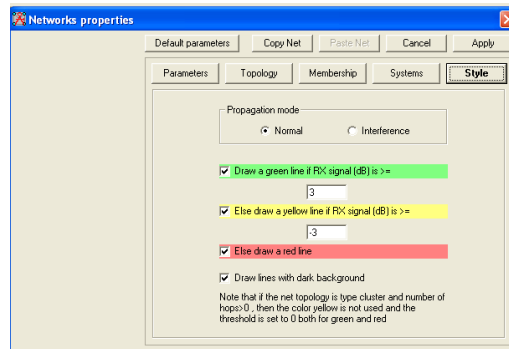


Fig. 52 Estilo de las líneas del radioenlace

Si en el radio enlace selecciona View/Details puede apreciar los detalles del enlace establecido, que para este enlace, según la Fig. 53, especifica la distancia entre las unidades, variación de elevación del terreno, ganancia del sistema, pérdida total de propagación, entre otros detalles.

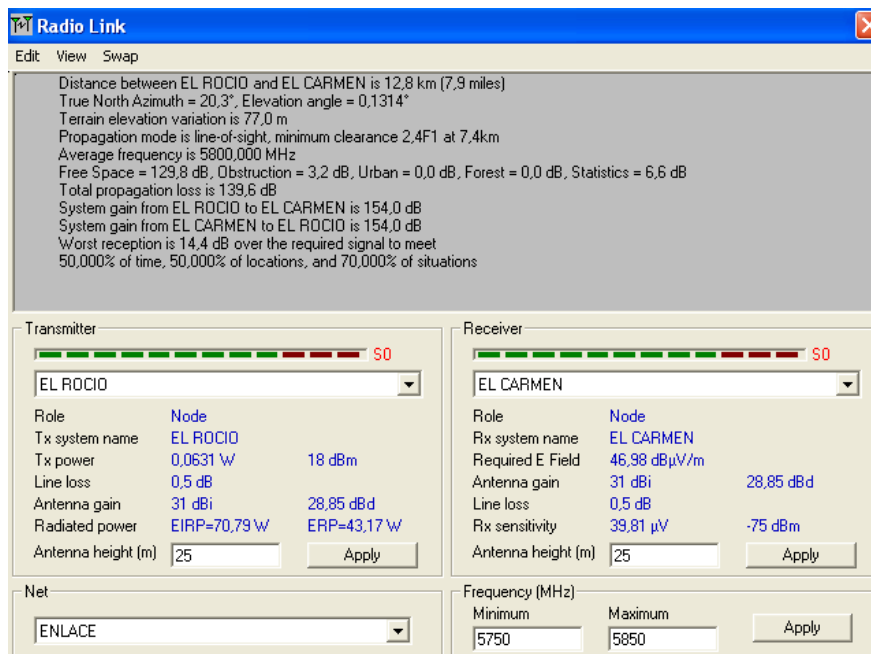


Fig. 53 Detalles del radioenlace entre El Rocío y El Carmen

Otro parámetro en la Opción View es Range, la cual facilita datos como umbral de recepción, señal promedio, umbral estático requerido, margen de éxito, entre otros, estos datos se pueden ver en la Fig. 54.

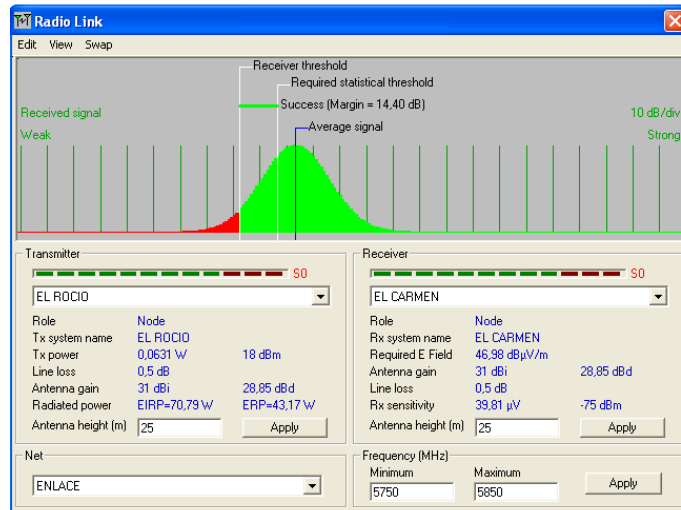


Fig. 54 Umbral de recepción, señal promedio, umbral estático requerido, etc.

La opción View también presenta la oportunidad de observar la estación receptora desde la transmisora de distintos ángulos, en la Fig. 55 se tiene la vista a 80°.

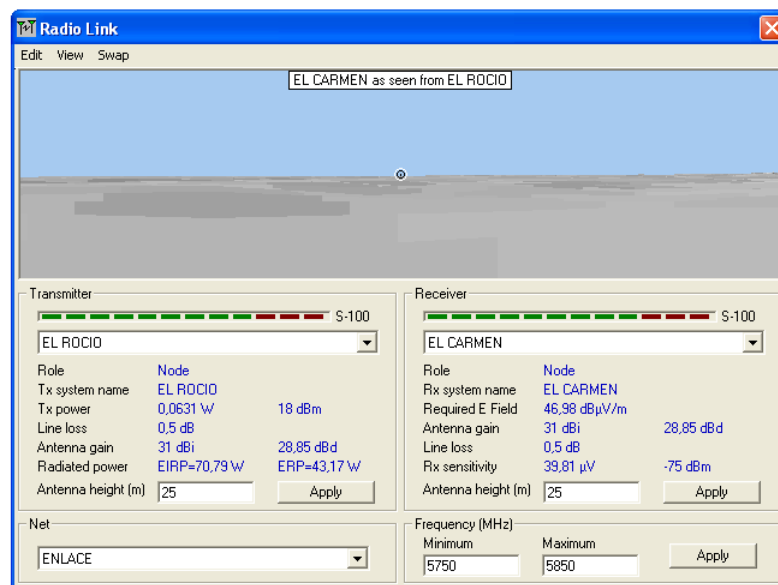


Fig. 55 Vista de la estación receptora a 80° de la transmisora

Al guardar el enlace se genera una gráfica similar a la Fig. 56, la cual contiene el perfil del terreno con las especificaciones de altura de unidades y antenas, la frecuencia de trabajo y la atenuación por espacio libre.

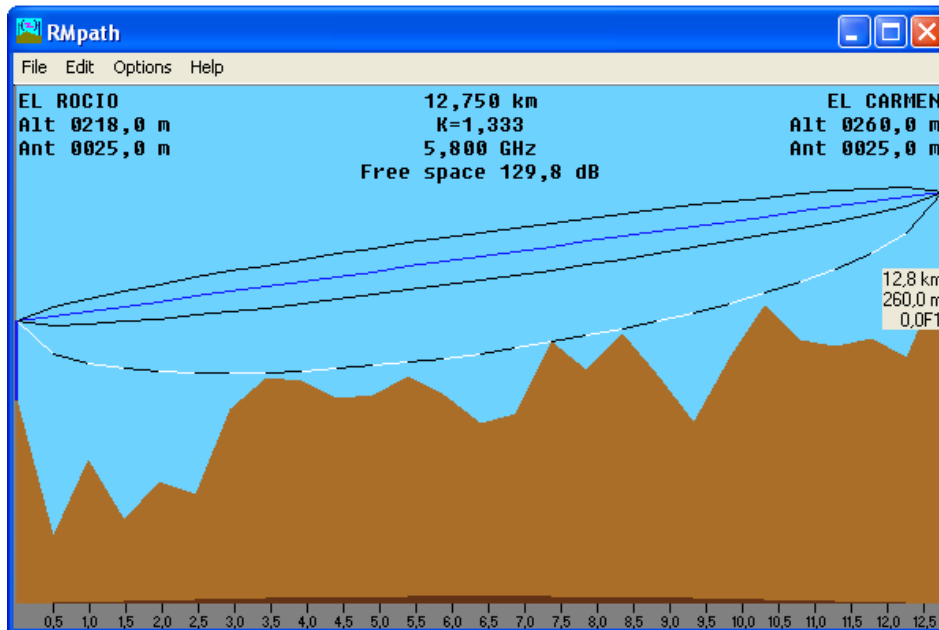


Fig. 56 Perfil del terreno

Los resultados obtenidos en la simulación se acercan a los calculados, por lo que se puede confiar en los datos obtenidos, de acuerdo a la simulación el radioenlace no tiene inconvenientes, tiene buen funcionamiento y cumple con los requerimientos de confiabilidad.

5.2.5. Equipamiento de la red

Los elementos de un enlace punto a punto son:

- Punto de acceso y Antena direccional que ya se determinaron anteriormente para los cálculos correspondientes.
- Cable para conexión exterior.

- Cable pigtail.
- Caja de pase.
- POE.- si el equipo no lo incluye.
- Filtro de banda.
- Protector de sobretensión.

Los equipos que se utilizaran en el proyecto son:

- Antena Grilla de Poynting Antenas, las características se describieron en la Tabla 32.
- LOBO MIURA PRO de LOBOMETRICS, cuyos parámetros principales se detallaron en la Tabla 31.
- Protector de Rayos AL6NMFB-9 de ALTELICON, sus características se presenta en la Tabla 33.

PROTECTOR DE RAYOS ALTELICON	
Rango de frecuencia	0-6 GHz
Pérdidas de inserción	Máx. 0.5dB
Impedancia	50 Ohm
Conector	N-hembra a N-hembra
Dimensiones	64 x 23 x 34 mm

Tabla 33 Características del protector de rayos Altelicon

- Filtro de banda, permite pasar un determinado rango de frecuencias de una señal y atenúa el paso del resto, el filtro que se escoge para el diseño es un HyperLink 5.8GHz, las características de este equipo se presenta en la Tabla 34.

Frecuencia	5.8GHz
Ancho de banda	150MHz
Pérdidas de inserción	0.5dB
Pérdidas de retorno	>10dB
Impedancia	50 Ohm

Conector	N-hembra
Número de cavidades	4
Dimensiones	58 x 58 x 28 mm
Peso	0.31Kg

Tabla 34 Características del Filtro de banda

- Caja de pase, protege conductores y permite cambios de direcciones en la instalación de manera sencilla, se ha escogido la caja SOLERA Ref. 886, los parámetros relevantes se presentan en la Tabla 35.

Caja estanca 220x170x80 (medidas interiores).
12 conos para tubo de Ø máximo 32 mm (M32) y 2 conos para tubo de Ø máximo 40 mm (M40)
Precintable
Tornillos 1/4 vuelta
Grado de protección I.P. 54, I.K. 07.

Tabla 35 Características de la Caja de pase

5.2.6. Descripción del modelo de red

Los protocolos para redes inalámbricas de área local están definidos en el estándar internacional IEEE 802.11, donde se definen las funciones de las capas: física y de enlace.

5.2.6.1. Capas de red

5.2.6.1.1. Capa Física

La capa física determina la modulación y señalización de la transmisión de datos, el funcionamiento de la redes inalámbricas de área local en bandas de radio

frecuencia requiere modulación en banda estrecha. Los estándares de transmisión de radio frecuencia son FHSS y DSSS.

5.2.6.1.2. Capa de enlace

La capa de enlace o capa MAC es similar a Ethernet 802.3; utiliza un algoritmo de estimación de desocupación de canales (CCA) el cual realiza una medición de energía de radio frecuencia de la antena y determina la fuerza de la señal recibida.

5.2.6.2.Topología

La topología de la red está relacionada a la funcionalidad con la que se pretenda establecer la red, lo cual puede ser de dos modos distintos: Ad Hoc e Infraestructura.

5.2.6.2.1. Modo Ad Hoc

Con el modo Ad-Hoc se puede crear redes multipunto a multipunto, cada tarjeta inalámbrica se puede comunicar con las tarjetas vecinas, para lo cual se requiere que los nodos estén dentro del alcance de los demás para poder comunicarse, además de concordar en nombre y canal de red.

5.2.6.2.2. Modo Infraestructura

El modo infraestructura se denomina también modo punto de acceso, ya que crea un servicio tradicional de acceso, las tarjetas inalámbricas en el modo maestro administran todas las comunicaciones de la red.

Sin importar que el enlace sea punto a punto o punto multipunto, un radio opera en modo maestro, mientras que los demás operan en el modo administrado.

Debido a que los enlaces punto a punto pueden ser establecidos en modos ad hoc y en modo infraestructura, para el diseño se escoge el modo infraestructura.

5.2.7. Descripción de la tecnología utilizada

La tecnología en la que el proyecto se va a respaldar es Spread Spectrum, donde la señal que se transmite es propagada en una banda de frecuencia mucho más amplia que el mínimo ancho de banda requerido para la transmisión de la información. La señal portadora se modula en banda base en transmisión, al realizar una segunda modulación con la señal resultado de la primera modulación y una señal pseudoaleatoria se produce el ensanchamiento. La recepción se realiza mediante un proceso de correlación, el cual consiste en la suma de la señal recibida con una señal local, replica de la señal usada para la transmisión. Esta tecnología presenta excelentes propiedades en cuanto a inmunidad a interferencias, además posibilidad de encriptación.

5.2.7.1. Selección de la técnica de Spread Spectrum

Las técnicas que Spread Spectrum utiliza son: DSSS, FHSS, THSS y Modulación Híbrida.

- a. **FHSS**.- Espectro ensanchado por salto de frecuencia, la frecuencia varía con el tiempo de acuerdo a secuencia de códigos preestablecidos, la señal se emite sobre una serie de radiofrecuencias fortuitas saltando, sincrónicamente con el transmisor, de frecuencia en frecuencia, de este modo, receptores no autorizados solo escucharán señales incoherentes, interceptando, si lo logra, solo pocos bits.
- b. **DSSS**.- Espectro ensanchado por secuencia directa, es la más utilizada, la multiplicación de la secuencia de bit original por una secuencia digital de velocidad mayor, un número de canal es ocupado por la señal FH, el ancho de banda del canal es el mismo que el de la señal de entrada.

La señal salta de frecuencia en frecuencia en intervalos fijos, el transmisor opera en un único canal a la vez, los bits se transmiten usando un tipo de

codificación, la señal es difundida en serie de frecuencias de radio aleatorias.

- c. **THSS.-** Cambia el rango de transmisión dentro de una trama temporal, el periodo y el ciclo de un portador de pulso RF varían de manera pseudoaleatoria.
- d. **Modulación Híbrida** Utiliza las características importantes de las modulaciones anteriores, de esta manera no se restringe al uso de las características importantes de un solo tipo de modulación, sino se combinan las ventajas de dos tipos de modulación.

Para aprovechar las ventajas que brindan las técnicas por separado se puede utilizar la modulación híbrida, las combinaciones que se pueden presentar son:

- Secuencia directa y salto en frecuencia.- un bit de datos es dividido sobre distintos canales de salto en frecuencia, cada canal contiene un código de pseudoruido el cual se multiplica con la señal que contiene los datos.
- Salto en frecuencia y tiempo.- Con esta combinación varios canales pueden operar al mismo tiempo, siempre y cuando los cambios en tiempo y frecuencia son sincronizados, de esta forma varios usuarios transmiten a diferentes tiempos y frecuencia.

La combinación que mejores ventajas brinda es Secuencia directa y salto en frecuencia, por lo que la toma como referencia.

5.2.7.2. Selección del tipo de Multiplexación

Los tipos de multiplexación utilizados por Spread Spectrum son:

FDMA.- Acceso Múltiple por División de Frecuencia, divide el radio de frecuencias en un rango de radiofrecuencias, en este tipo de multiplexación, un solo suscriptor es asignado a cada canal.

TDMA.- Acceso Múltiple por División de Tiempo, se tiene mayor capacidad pues divide el radio de canales de tiempo.

CDMA.- Acceso Múltiple por División de Código, con este tipo de multiplexación, se consigue ubicar varios usuarios en el mismo ancho de banda y tiempo, pues a cada usuario se le asigna un código único llamado secuencias de pseudoruido las cuales son utilizadas tanto por las estaciones base como móvil para distinguir las conversaciones.

Una vez analizado las características relevantes de cada tipo de multiplexación se puede determinar que se utilizará el acceso múltiple por división de código.

5.2.8. Análisis económico

5.2.8.1. Costo de operación

Para determinar el valor de operación se suma el costo de estudio y de instalación.

5.2.8.1.1. Costo de estudio.- Se estima que un valor razonable para el estudio del diseño es de \$250.

5.2.8.1.2. Costo de instalación.- Corresponde al valor de los equipos más el costo de ingeniería.

a. Costo de equipos.- Los equipos y accesorios que se requieren se describen en la Tabla 36.

PRESUPUESTO			
CANTIDAD	DETALLE	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
2	LOBO MIURA OSB FIVE	360	\$ 720,00
2	Antena de rejilla HyperLink	99	\$ 198,00
100	Cable para conexión exterior	0,91	\$ 91,00
2	Cable pigtail	19,02	\$ 38,04
2	Filtro de banda	128,85	\$ 257,70
2	Protector para rayos	28	\$ 56,00
2	Caja de pase	10	\$ 20,00
TOTAL			\$ 1.380,74

Tabla 36 Costo de equipos y accesorios

b. Costo de ingeniería.- Corresponde al 30% del costo de equipos.

El costo de instalación se puede observar en la Tabla 37.

INSTALACIÓN	
Costos de los equipos	\$ 1.380,74
Costos de Ingeniería	\$ 414,22
Subtotal	\$ 1.794,96

Tabla 37 Costo de instalación

El costo total de operación se aprecia en la Tabla 38.

OPERACIÓN	
Estudio	\$ 250,00
Costo instalación	\$ 1.794,96
Subtotal	\$ 2.044,96

Tabla 38 Costo de operación

5.2.8.2.Costo de mantenimiento

Para un óptimo funcionamiento del sistema se provee tener revisiones anuales de prevención y de reparación, en caso necesario, estableciendo un valor anual de \$600, la proyección de duración del radioenlace es de diez años, por lo que el valor total de mantenimiento es de \$6.000.

5.2.8.3.Costo total del proyecto

El costo total del proyecto a diez años es de \$8.797.60, como se muestra en la Tabla 39.

COSTO DEL PROYECTO	
OPERACIÓN	
Estudio	\$ 250,00
Costo instalación	\$ 1.794,96
Subtotal	\$ 2.044,96
MANTENIMIENTO	
Anualmente	600
Subtotal a 10 años	\$ 6.000,00
TOTAL	\$ 8.044,96

Tabla 39 Costo total del proyecto

5.2.8.4.Justificación de gastos

Los costos de los equipos necesarios para implementación y mantenimiento del sistema están basados en los precios que los proveedores de equipos e implementos publican en sus sitios web, la Tabla 40 contiene los datos correspondientes a la dirección web donde se encontró el precio referencial de los equipos y accesorios.

JUSTIFICACION DE GASTOS		
EQUIPO/ ACCESORIO	PROVEEDOR	PAGINA WEB
LOBO MIURA OSB FIVE	LOBOMETRICS	http://www.wifitienda.es/index.php?manufacturers_id=12
Antena de rejilla	HIPERLINK	http://www.microcom.us/kgrid00306.html

HyperLink	TECHNOLOGIES	
Cable coaxial para conexión exterior	TDPROFESIONAL	http://www.tdtprofesional.com/catalogo-distribucion-accesorios/cable-coaxial/cable-coaxial-cu-t100-negro-para-exteriores-100-metros-7-1229.html
Cable pigtail	WIMACOM	http://www.wimacom.com/tienda/pigtail-alargador-hembra-hembra-100cm-lmr400-equivalente-p-120.html
Filtro de banda	HIPERLINK TECHNOLOGIES	www.gallosmoquegua.com/files/lista_de_precios_wireless.xls
Protector de rayos	ALTELICON	http://www.grupoinweb.com/LISTA.pdf
Caja de pase	SOLERA	http://www.grupoinweb.com/LISTA.pdf

Tabla 40 Precios referenciales de los proveedores de equipos y accesorios usados en el diseño

5.2.9. Viabilidad del enlace

Para determinar si el diseño del enlace radioeléctrico es viable se analizan factores como ganancia del sistema y diagrama de radiación de la antena.

5.2.9.1. Ganancia del sistema

Representa la pérdida neta del sistema de radio, es la diferencia entre la potencia nominal de salida de un transmisor y la potencia mínima de entrada requerida por un receptor, la ganancia del sistema debe ser mayor a la suma de todas las pérdidas y ganancias producidas por una señal mientras viaja desde el transmisor al receptor.

La expresión matemática es:

$$G_s = P_t + C_{min}$$

Donde:

G_s = Ganancia del sistema dB

Pt = Potencia de salida del transmisor dBm.

Cmin = Potencia mínima de entrada al receptor para un objetivo de calidad determinado dBm.

La expresión que se debe cumplir es:

$$G_s \geq \text{Pérdidas} - \text{Ganancias}$$

Las ganancias que se toman en cuenta son las de la antena transmisora y receptora, mientras que las pérdidas que se incluyen son:

Pérdidas en el espacio libre, el alimentador (Lf), de acoplamiento o ramificación (Lb) y margen de desvanecimiento para una determinada confiabilidad.

Expresando matemáticamente:

$$G_s \geq \alpha_{el} + L_f + L_b + MD - G_r - G_t$$

Las pérdidas en el espacio libre fueron determinadas en la sección 5.3.6.1 y es igual a 129.832dB.

Las pérdidas en el alimentador se refieren a aquellas que se producen entre la red de distribución y la antena, en el cable coaxial se producen pérdidas aproximadas de 5.4 dB cada 100 metros, la cantidad de cable necesaria para conectar la antena y la red de distribución es de 70 metros por lo que existe 3.78dB de pérdidas.

Las pérdidas de acoplamiento son las ocasionadas en los circuladores y filtros de banda igual a 2 dB en cada estación, es decir 4 dB.

El Margen de desvanecimiento considera las condiciones no ideales e impredecibles en la propagación de las ondas electromagnéticas, como propagación de múltiples trayectorias y sensibilidad a superficies rocosas, considerando además un objetivo de confiabilidad del sistema.

El margen de desvanecimiento se determina con la formula:

$$MD = 30 \log d + 10 \log(6 * ABF) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Donde:

MD=Margen de desvanecimiento en dB.

d = Longitud del trayecto en Km.

A= Factor de rugosidad del terreno, puede tener un valor de entre los que se presentan en la Tabla 41.

4	Si el terreno plano o espejos de agua, ríos muy anchos, etc.
3	Cuando son sembrados densos, pastizales o arenales
2	Cuando la propagación va por encima de bosques
1	Cuando El terreno es normal
0.25	Para terrenos rocosos despajeo

Tabla 41 Valores del Factor de rugosidad

De acuerdo al perfil del terreno se puede considerar el valor A=1.

B= Factor climático, el valor que puede tomar B puede ser uno de los expuestos en la Tabla 42:

1	Para aéreas marina
0,5	Cuando prevalecen zonas calientes y húmedas
0,25	Para zonas, mediterráneas de clima normal
0,125	Cuando la zona es montañosa de clima seco y fresco

Tabla 42 Valores del Factor climático

Para el diseño se toma B=0.25.

F= Frecuencia de trabajo, en GHz.

R: Objetivo de confiabilidad de la transmisión, en formato decimal.

El objetivo de confiabilidad que se desea es del 99.998%, por tanto $1-R = 1-0.99998$.

$$MD = 30 \log 12.77 + 10 \log(6 * 1 * 0.25 * 5.8) - 10 \log(1 - 0.99998) - 70$$

$$MD = 19.571dB$$

La ganancia del sistema es:

$$G_s = \alpha_{el} + L_f + L_b + MD - G_r - G_t$$

$$G_s = 129.832 + 3.78 + 4 + 19.571 - 31 - 31$$

$$G_s = 95.183dB$$

Para conocer la potencia requerida en transmisión es necesario conocer el Umbral del receptor.

El umbral del receptor es la potencia de portadora de banda ancha mínimo C_{min} en la entrada de un receptor que proporcionará una salida de banda base que pueda utilizarse, también se conoce como sensibilidad del receptor. El umbral del receptor depende de la potencia de ruido de banda ancha que está presente en la entrada de un receptor, el ruido que se introduce en el receptor y la sensibilidad al ruido del detector de banda base.

$$C_{min} = \frac{C}{N} dB + N dB$$

Donde:

N= Potencia de ruido

C/N = Relación señal a ruido

La potencia de ruido se determina con la fórmula:

$$N = KTB$$

Donde:

N= Potencia de ruido

K= constante de Boltzman igual a 1.38×10^{-23} J/K

T= Temperatura de ruido equivalente del receptor expresado en grados Kelvin.

Temperatura ambiente igual a 290 °K

B= Ancho de banda de ruido Hz (20MHz)

$$N = 1.38 \times 10^{-23} \times 290 \times 20 \times 10^6$$

$$N = 8.004 \times 10^{-14}$$

Expresado en dBm:

$$N(dBm) = 10 \log \frac{8.004 \times 10^{-14}}{0.001}$$

$$N(dBm) = -100.967$$

El umbral de recepción es igual a:

$$C_{min} = 13.7dB + (-99.686dBm)$$

$$C_{min} = -87.267dBm$$

Determinado el umbral ya se puede conocer la potencia de salida del transmisor:

$$P_t = G_s + C_{min}$$

$$P_t = 95.183dB + (-87.267dBm)$$

$$P_t = 7.916dBm$$

Este resultado significa que es necesario una potencia de transmisión de 7.916dBm para alcanzar una relación de portadora de 13.7 dB con una ganancia del sistema de 98.193dB y un ancho de banda de 20MHz.

El equipo que se escogió para el diseño tiene una potencia de transmisión de 18dBm, por lo que cubre el resultado obtenido, es decir el diseño es viable.

5.2.9.2.Confiabilidad del sistema

El margen de desvanecimiento está directamente relacionado con la confiabilidad del sistema que representa la disponibilidad anual del sistema.

Como fue el objetivo, la confiabilidad es del 99.998%, el enlace perderá su funcionamiento 10.512 minutos en un año.

$$\text{Confiabilidad} = (1 - 0.99998) * 365 * 24$$

$$\text{Confiabilidad} = 0.1752 \text{ horas/año}$$

$$\text{Confiabilidad} = 10\text{min}30.72\text{seg/año}$$

5.2.9.3.Diagrama de radiación de la antena

Desde El Rocío se toma los puntos necesarios cada 30° en un radio de 14 Km para realizar el diagrama de radiación de la antena que se colocará en ese punto, los datos que se obtuvieron en las cartas topográficas se presentan en la Tabla 43.

UBICACIÓN DEL TRANSMISOR

Subestación El Rocío

ALTURA DEL TX

218 m

ALTURA DE LA TORRE

25 m

Distancia (m)	Altura Corregida (m) factor de corrección 4/3											
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
0	218,00	218,00	218,00	218,00	218,00	218,00	218,00	218,00	218,00	218,00	218,00	218,00
2000	213,00	230,00	218,00	218,00	219,00	222,00	217,00	210,00	215,00	204,00	200,00	200,00
4000	219,00	228,00	228,00	226,00	224,00	216,00	213,00	198,00	204,00	204,00	208,00	223,00
6000	220,00	236,00	202,00	211,00	213,00	215,00	200,00	186,00	191,00	195,00	200,00	200,00
8000	235,00	246,00	231,00	238,00	218,00	203,00	202,00	196,00	185,00	204,00	195,00	218,00
10000	200,00	263,00	253,00	246,00	229,00	195,00	190,00	176,00	185,00	203,00	200,00	217,00
12000	231,00	260,00	256,00	246,00	188,00	194,00	136,00	176,00	186,00	229,00	193,00	216,00
14000	220,00	260,00	271,00	251,00	233,00	195,00	180,00	164,00	198,00	266,00	206,00	220,00
Irregularidad del Terreno (m)	-8,50	-3,10	21,70	-6,20	2,90	-13,60	46,60	15,80	-7,30	24,90	-16,10	-19,30
Altura Promedio (m)	219,50	242,63	234,63	231,75	217,75	207,25	194,50	190,50	197,75	215,38	202,50	214,00

Tabla 43 Alturas tomadas cada 30° para determinar el diagrama de radiación de la antena

5.2.9.4.Azimut

Es el ángulo de una dirección contado en el sentido de las agujas del reloj a partir del norte geográfico. El Azimut de un punto hacia el este es 90 grados y hacia el oeste 270 grados sexagesimales. En la Tabla 44 se observa el Azimut, altura promedio y efectiva y la distancia de cobertura.

Potencia del Transmisor	0,063	W
Ganancia de la Antena Tx	31	dB
Pérdidas del Sistema	-130	dB
Potencia Efectiva Radiada (PER)	148.99	dBW
Potencia Efectiva Radiada (PER)	178.99	dBm
Intensidad de Campo utilizable	88.741	dB uV/m

AZIMUT (GRADOS)	Altura Promedio (m)	Altura Efectiva (m)	Distancia de Cobertura (Km)
0	219,50	23,50	319,42
30	242,63	0,38	75,91
60	234,63	8,38	223,23
90	231,75	11,25	247,32
120	217,75	25,25	327,49
150	207,25	35,75	369,52
180	194,50	48,50	410,81
210	190,50	52,50	422,27
240	197,75	45,25	401,03

270	215,38	27,63	337,87
300	202,50	40,50	385,88
330	214,00	29,00	343,62

Tabla 44 Azimut

El diagrama de radiación de la antena se presenta en la Fig. 57:

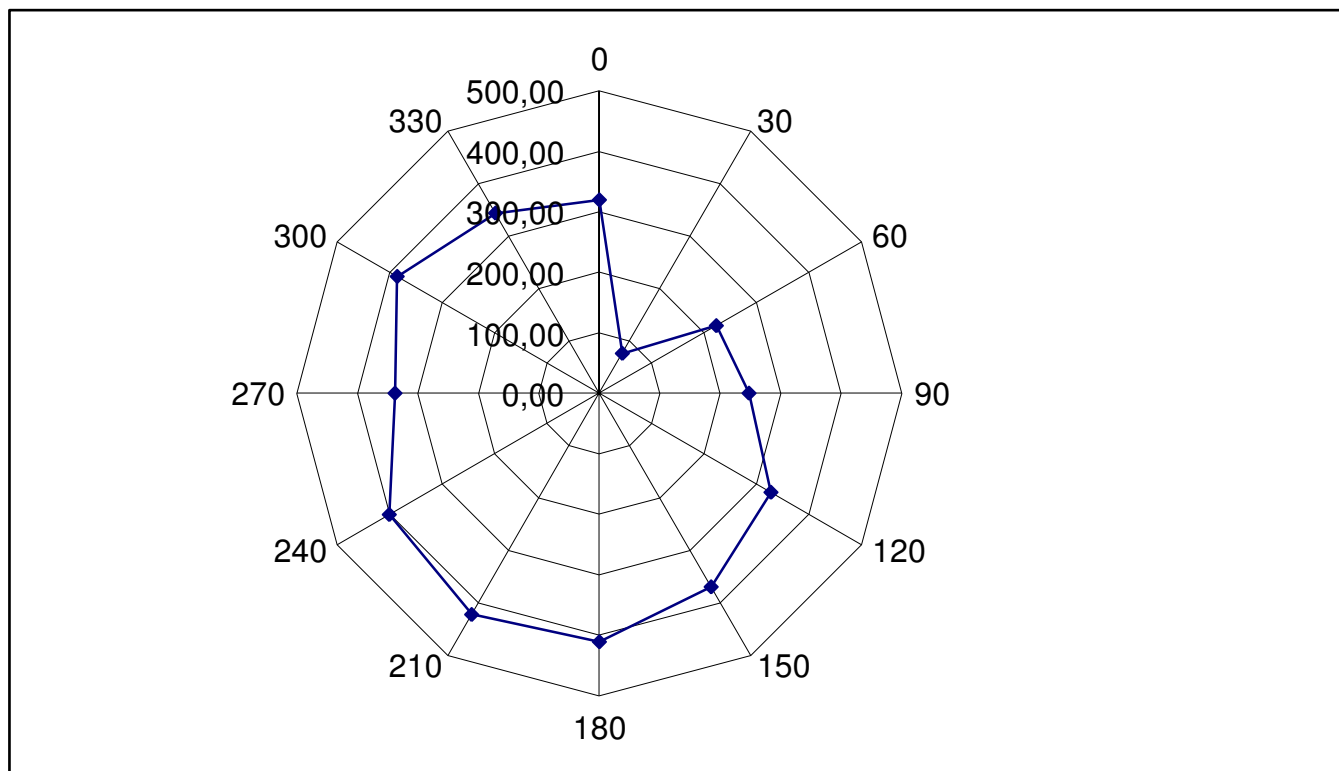


Fig. 57 Diagrama de radiación de la antena

La distancia que se requiere cubrir es de 12.77 kilómetros, y de acuerdo al diagrama de radiación de la antena, esta distancia es cubierta al 100 por ciento, por lo que el diseño es viable.

5.2.10. Viabilidad económica

Debido a que el radioenlace es una inversión necesaria para tener comunicación con todas las subestaciones, la viabilidad económica se incluye en el diseño del sistema de comunicación por fibra óptica.

Los parámetros que se incluirán en la viabilidad económica del diseño del sistema de fibra óptica son el costo de mantenimiento del enlace que será de \$600 anualmente y los beneficios del servicio de videoconferencia.

5.2.11. Tiempo de operación del radioenlace

Los parámetros que determinan el tiempo aproximado en el cual el radioenlace funcione correctamente son: tiempo de estudio, instalación y configuración de equipos, y pruebas, la duración de cada uno de estos indicadores se presentan en la Tabla 45.

TIEMPO DE OPERACIÓN	
INDICADOR	TIEMPO (Horas)
Estudio	16
Instalación de equipos	8
Configuración de equipos	16
Pruebas	8
TOTAL	48

Tabla 45 Tiempo de operación

Es decir el proyecto estará funcionando en seis días laborables

5.3. BIBLIOGRAFIA

5.3.1. Bibliografía de libros

- Cuaderno de propagación de ondas séptimo semestre con Ing. Julio Cuji.
- Folleto de Comunicaciones ópticas Ingeniero Juan Pablo Pallo.
- Folleto Radioenlace Analógico Ingeniero José Robles.
- Tesis “Estudio de las redes ópticas de acceso DWDM y factibilidad de ser implementado en la zona central del Ecuador”. Autor: Juan Pablo Pallo.
- Tomasi Introducción a las comunicaciones electrónicas.
- PAZMAY, Galo Guía Práctica para la elaboración de tesis y trabajos de investigación.

5.3.2. Bibliografía de internet

- <http://www.scribd.com/doc/7360497/043-Fundamentos-de-Enlaces-de-Fibra-Optica>
- <http://www.taringa.net/posts/info/2170899/Fibra-Optica>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagnetico
- <http://www.yio.com.ar/fibras-opticas/atenuacion-fibras-opticas-potencia-otdr.php>
- <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/932/6/T10695CAP1.pdf>
- <http://orbita.starmedia.com/fortiz/Tema04.htm>
- http://darfe.es/CMS/index.php?module=Descargas&func=prep_hand_out&lid=16
- <http://www.cnelsantodomingo.com.ec>
- <http://www.monografias.com/trabajos13/fibropt/fibropt.shtml>

- <http://diec.unizar.es/asignaturas/defaultWebs/11952/Tema%203%20Espectro%20Ensanchado.pdf>
- <http://www.radiocomunicaciones.net/radio-enlaces.html>
- http://www.ehas.org/uploads/file/difusion/academico/PFC/MarcBanhos_PFC.pdf
- <http://www.youtube.com/watch?v=WOEa04EhJxU&feature=related>

5.3.3. Referencias

- ¹ <http://www.taringa.net/posts/info/2170899/Fibra-Optica>
- ² <http://www.scribd.com/doc/7360497/043-Fundamentos-de-Enlaces-de-Fibra-Optica>
- ³ http://2.bp.blogspot.com/_yT1Nl_J36k4/SoTTmanKSII/AAAAAAAAAD0/LggjNEIMcYE/s1600-h/espectro010307.jpg
- ⁴ http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagnetico
- ⁵ <http://nuevocircuito.wordpress.com/2009/11/08/compensacin-de-distorsin-no-lineal-introducida-por-la-fibra-ptica-en-redes-catv/>
- ⁶ <http://www.yio.com.ar/fibras-opticas/atenuacion-fibras-opticas-potencia-otdr.php>
- ⁷ <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/932/6/T10695CAP1.pdf>
- ⁸ <http://orbita.starmedia.com/fortiz/Tema04.htm>
- ⁹ <http://www.fiberoptics4sale.com/Merchant2/multimode-fiber.php>
- ¹⁰ http://www2.dc.uel.br/~sakuray/Espect-Comunicacao%20de%20dados/Meios_Transmissao/frame_principal.htm
- ¹¹ http://www.comdiel.cl/conectores-adaptadores-c-9_55.html
- ¹² <http://francisco.perublog.net/2009/11/28/redes-y-comunicaciones-de-datos>
- ¹³ “Comunicaciones ópticas” Ing. Junan Pablo Pallo
- ¹⁴ <http://www.configurarequipo.com/doc499.html>
- ¹⁵ “Radioenlace Analógico” Ing. José Robles
- ¹⁶ Cuaderno Propagación de ondas séptimo Electrónica
- ¹⁷ Departamento de planificación CNEL Santo Domingo

¹⁸http://www.fibernet.es/sp/producto.php?id=20&parent_id=3&name=Familia+MUX

ANEXOS

Resumen de los valores recomendados para las categorías de la fibra óptica G.652

Cuadro 1/G.652 – Atributos G.652.A

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0,092 ps/nm ² × km
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310 nm	0,5 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PDM _Q máximo	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD _Q para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable PMD _Q .		

Cuadro 2/G.652 – Atributos G.652.B

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0,092 ps/nm ² × km
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310 nm	0,4 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
	Máximo a 1625 nm	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

NOTA – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD_Q para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable PMD_Q.

Cuadro 3/G.652 – Atributos G.652.C

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0,092 ps/nm ² × km
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm (Nota 2)	0,4 dB/km
	Máximo de 1383 nm ± 3 nm	(Nota 3)
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

NOTA 1 – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD_Q para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable PMD_Q.

NOTA 2 – Esta región de longitud de onda puede ampliarse hasta 1260 nm añadiendo 0,07 dB/km de pérdida por dispersión de Rayleigh inducida al valor de atenuación a 1310 nm. En este caso, la longitud de onda de corte del cable no deberá sobrepasar 1250 nm.

NOTA 3 – La atenuación media detectada en muestras a esta longitud de onda debe ser menor o igual al valor especificado para el intervalo 1310 nm a 1625 nm, después del proceso de envejecimiento del hidrógeno conforme a CEI 60793-2-50 en relación con la categoría de fibra B1.3.

Cuadro 4/G.652 – Atributos G.652.D

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{\text{omín}}$	1300 nm
	$\lambda_{\text{omáx}}$	1324 nm
	$S_{\text{omáx}}$	$0,092 \text{ ps/nm}^2 \times \text{km}$
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm (Nota 2)	0,4 dB/km
	Máximo de 1383 nm ± 3 nm (Nota 3)	(Nota 3)
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	$0,20 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTA 1 – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD_Q en la fibra no cableada para soportar el requisito primario de PMD_Q del cable.</p> <p>NOTA 2 – Esta región de longitud de onda puede ampliarse hasta 1260 nm añadiendo 0,07 dB/km de pérdida por dispersión de Rayleigh inducida al valor de atenuación a 1310 nm. En este caso, la longitud de onda de corte del cable no deberá sobrepasar 1250 nm.</p> <p>NOTA 3 – La atenuación media detectada en muestras a esta longitud de onda debe ser menor o igual al valor especificado para el intervalo 1310 nm a 1625 nm después del proceso de envejecimiento del hidrógeno conforme a CEI 60793-2-50 en relación con la categoría de fibra B1.3.</p>		

GLOSARIO

RTU: Unidad Terminal Remota, dispositivo que permite conseguir señales independientes de los procesos y enviar la información a un sitio remoto donde se procese.

IED: Dispositivos Electrónicos Inteligentes, son dispositivos que realizan funciones de automatización en una subestación mediante una programación contando para ello con uno o más microprocesadores. Puede ser programado como relés de protección, medidores de magnitudes analógicas, intercambiador de datos o puede realizar todas estas funciones al mismo tiempo.

TRIPLAY: También conocido como Triple Play, es un sistema que permite compartir sin perturbación los datos, la voz y el vídeo, la conexión se basa en datagramas IP para todos los servicios.

VOIP: Voz sobre el Protocolo de Internet (IP), tecnología en la cual la voz viaja a través de Internet usando el Protocolo de Internet (IP), las señales de voz se envían en forma de paquetes en lugar de enviarlas usando circuitos propios de telefonía.

SONET: Synchronous Optical Network (Red Óptica de Transporte). Tecnología que permite transportar varias señales, cada una de diferente capacidad, por medio de una jerarquía óptica síncrona, logrando todo esto a través de un esquema de multiplexado por interpolación de bytes.

SDH: Synchronous Digital Hierarchy (Jerarquía Digital Síncrona). Es un sistema de transporte digital síncrono que proporciona una infraestructura sencilla económica y flexible para redes ópticas de telecomunicaciones. Es necesario sincronizar todos los nodos de la red.

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing. Técnica que permite incrementar la capacidad de transmisión de la fibra óptica enviando simultáneamente varias señales, cada una con diferente longitud de onda, las señales que se transmitan pueden ser de diferentes formatos.

OPGW: Optical Power Ground Wire. Es un cable mixto compuesto por una parte óptica y una parte metálica. La parte óptica, constituida por fibra óptica y elementos de protección y cableado, lleva a cabo la función de enlace de telecomunicaciones y, la parte metálica realiza la función de cable de tierra de la línea aérea de alta tensión.

EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier. Amplificadores ópticos que se utilizan en DWDM para aumentar la ganancia del sistema.

MUX: Multiplexor, dispositivo que recibe varias señales de entrada y las transmite simultáneamente por un medio de transmisión dividiéndolo en varios canales.

DEMUX: Demultiplexor, dispositivo que capta todas las señales del medio por cual transmitió el MUX, las separa de acuerdo con el canal y los envía hacia las líneas de salida correspondientes.

MPLS: Multi Protocol Label Switching. Conjunto de especificaciones definidas por el IETF (Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet), unifica el servicio de transporte de datos para las redes basadas en circuitos y las basadas en paquetes, puede transportar diferentes tipos de tráfico, proporciona circuitos virtuales con mejoras como VPN, Ingeniería de Tráfico y mecanismos de protección frente a fallos.

VPN: Virtual Private Network (Red privada Virtual), es una tecnología de red con la cual se logra extender una red sobre una red pública como el internet.

IPv4: Protocolo de Internet versión 4, el tamaño de las direcciones es de 32 bits que consta de cuatro grupos binarios de 8 bits, su equivalente son los cuatro grupos decimales cada uno formado por tres dígitos, cada grupo de dígitos se separa a través de un punto, la cantidad de direcciones disponibles por esta versión es: $2^{32} = 4.000.000.000$ aproximadamente.

IPv6: Protocolo de Internet versión 6, el tamaño de las direcciones es de 128 bits que consta de ocho grupos binarios de 16 bits separados por dos puntos (:) que pueden ir del 0000 al ffff, la cantidad de direcciones disponibles en esta versión es aproximadamente 34 trillones.

OSPF: Open Shortest Path First (Abrir Primero la Trayectoria más Corta), protocolo de enrutamiento de estado de enlace utilizado por MPLS.

CR-LDP: Constraint Based Routing Label Distribution Protocol, es un protocolo de encaminamiento basado en restricciones usado para la distribución de etiquetas.

RSVP-TE Resource Reservation Protocol, (Protocolo de Reservación de Recursos), reserva recursos en todo el trayecto entre nodo origen y destino para un flujo específico garantizando la calidad de servicio.

IS-IS: Intermediate System-Intermediate System, (Sistema Intermedio a Sistema Intermedio), protocolo de estado de enlace similar a OSPF.

RIP: Routing Information Protocol, (Protocolo de encaminamiento de información), es un protocolo de puerta de enlace interna utilizado por los routers para intercambiar información acerca de redes IP.

LSP: Label Switched Path, es un camino entre dos o más LSR que sigue un paquete

LSR: Label Switched Router es un nodo MPLS que constituye el núcleo de la red, puede enviar paquetes de capa 3.

LER: Label Edge Router, router situado en la frontera de la red el cual envía el tráfico entrante hacia la red MPLS.

Spread Spectrum: Espectro ensanchado, esparcido o disperso es una técnica de modulación utilizada en telecomunicaciones para transmisión de datos, generalmente digitales y por radiofrecuencia. La señal que se transmite es propagada en una banda de frecuencia amplia, mucho más que el mínimo ancho de banda requerido para la transmisión de la información.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.CONCLUSIONES

- La fibra óptica brinda ventajas superiores a cualquier otro medio en la actualidad, por lo que los problemas de comunicación que se presentan en la Corporación se reducirán o eliminarán. Entre estas ventajas están mayor ancho de banda, inmunidad al ruido, seguridad y menor atenuación de la señal que se transmite.
- La fibra óptica tiene costo elevado, por lo que se convierte en el principal inconveniente para que la Corporación la implemente en todas las subestaciones eléctricas.
- El costo de inversión en la implementación del sistema de fibra óptica en todas las subestaciones es elevado, por lo que se convierte en un obstáculo para su pronta implementación.

6.2. RECOMENDACIONES

- Las ventajas de la fibra óptica pueden ser limitadas por los equipos que se utilice, por lo que se recomienda escoger los que mejores características de transmisión presenten.
- El precio de la fibra óptica varía de acuerdo a las características que brinde y el número de hilos que contenga el cable, por lo que se recomienda adquirir un cable con el número indispensable de hilos, es decir, si se decide utilizar fibra óptica solo para la Corporación será suficiente seis hilos de fibra óptica, mientras que si se decide alquilar hilos de fibra óptica a otras empresas, el alto precio será recompensado por los ingresos que se tenga por el alquiler.
- Debido al elevado costo de implementación del sistema, se recomienda implementarlo en etapas, primero el anillo de fibra óptica, para en el futuro implementar fibra óptica en las otras subestaciones, y si es posible, realizarlo también a las agencias de atención al cliente, así, se tendría un sistema totalmente confiable.