

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



“ENLACES DE COMUNICACIÓN ENTRE SUBESTACIONES ELÉCTICAS Y AGENCIAS DEL ICE”

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Electrónica con el grado académico de Licenciatura/Bachillerato**

Carlos Alonso Siles Castro

Cartago, Marzo del 2012

INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

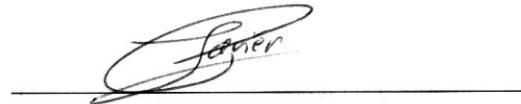
Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



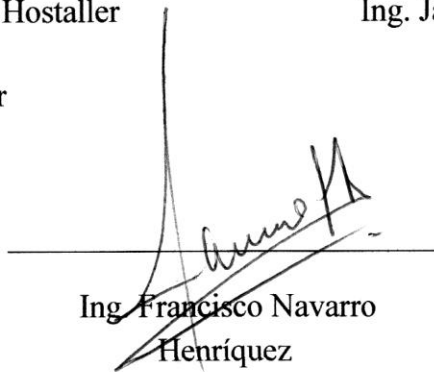
Ing. Néstor Hernández Hostaller

Profesor lector



Ing. Javier Pérez Rodríguez

Profesor lector



Ing. Francisco Navarro
Henríquez

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, Marzo del 2012

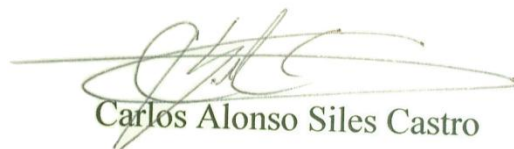
Declaración de Autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, Marzo 2012



Carlos Alonso Siles Castro

Cédula: 304060450

Resumen

Actualmente, el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) cuenta con una plataforma de comunicación TCP/IP que enlaza las subestaciones eléctricas y las plantas de producción de energía, en una sola red de información. Dicha plataforma tienen como objetivo monitorear, analizar y controlar todos los eventos que se generan dentro de la red eléctrica nacional, lo cual crea un sistema eléctrico más confiable y eficiente.

El ICE desea extender los límites de dicha red con la incorporación de las Agencias ICE, ya que estos sitios son los que reciben la información del consumo de electricidad de cada uno de sus abonados y clientes. Por lo tanto, dicha incorporación daría la posibilidad de realizar un manejo estadístico más preciso de los consumos de electricidad y poder tener una variable mas para el control y la toma de decisiones dentro del sistema eléctrico. El enlace que se desea implementar es entre las Subestaciones Eléctricas con las Agencias, al cual también permitiría a futuro, tener un monitoreo y control del consumo de cada uno de los abonados y clientes de la Institución en tiempo real.

Actualmente, no existe un medio que comunique las Subestaciones Eléctricas con las Agencias, por lo que se necesita una valoración de los medios tecnológicos disponibles para la implementación de dicho enlace.

Palabras claves: ICE, TCP/IP, subestación eléctrica, Agencia ICE.

Abstract

Nowadays, the Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) has a TCP/IP communication platform that links the electrical substations and the energy production plants in one single information network. The function of this platform is to monitor, analyze and control all events that are generated in the national grid, which creates a more reliable and efficient electrical system.

The ICE wants to extend the limits of this network with the addition of the ICE Agencies, because these sites receive the information of the electricity consumption of each one of their subscribers and customers. Therefore, this incorporation will give the possibility of a more accurate statistical management of electricity consumption, and give another variable for the control and to taking decisions within the electrical system. The link that wants to be implemented is between the electrical substations with the ICE agencies, which in the future will give the possibility to monitoring and controlling in real-time, the consumption of the Institution subscribers and clients.

Actually, there is no communication means that interconnect, the electrical substations with the ICE agencies, so is necessary to make an evaluation of the technological means available to the implementation of that link.

Keywords: ICE, TCP/IP, electrical substations, ICE Agency.

Dedicatoria

A Dios por ser el motor que me llena de fuerza y fe para seguir adelante, y por darme la oportunidad de poder cumplir todas mis metas. También a todas esas personas que me han brindado su cariño y me han alentado en el transcurso de mi vida. Pero muy especialmente a mis padres, por todo el amor, esfuerzo y sacrificio durante estos 26 años; por ser las personas que siempre han estado conmigo, que me han apoyado en los momentos difíciles, y que han disfrutado conmigo de mis alegrías. Y finalmente a mis abuelitos Coco y Lila, que están en el cielo, les dedico todos mis éxitos y alegrías.

Agradecimiento

Primeramente, le quiero dar gracias a Dios por darme salud para poder superar todos los obstáculos, y poder alcanzar mis metas. A mis padres, por todo el amor y apoyo que recibí durante todos estos años como estudiante. Les agradezco su paciencia y todos esos buenos consejos durante todo este tiempo.

Un agradecimiento muy especial al Ing. Alejandro Mata Castro, por darme la posibilidad de realizar mi proyecto de graduación en una empresa tan importante como lo es el ICE, en donde crecí a nivel personal y en lo profesional. Muchas gracias por su confianza y sus atenciones.

A todos los compañeros del área Sistemas de Comunicación, por su colaboración durante el proyecto, y por hacerme sentir uno más de ustedes. Gracias por hacer que estos 6 meses fueran una de las experiencias más bonitas de mi vida.

A mi profesor tutor, por creer en mi proyecto de graduación, y brindarme su confianza y apoyo durante el desarrollo del mismo.

Y finalmente, quiero agradecerles a todas aquellas personas que estuvieron a mi lado durante este período como estudiante, en especial a Johanna, por su cariño y sus consejos que me han hecho crecer como persona durante todo este tiempo.

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Entorno del Proyecto	2
1.2.	Justificación e importancia del proyecto	3
1.3.	Meta y Objetivos.....	6
1.4.	Alcances y limitaciones del proyecto	7
1.4.1.	Alcances.....	7
1.4.2.	Limitaciones.....	8
2	MARCO TEÓRICO	9
2.1.	Tecnología de los enlaces de Fibra Óptica	9
2.1.1.	Introducción.....	9
2.1.2.	Fibra Óptica.....	10
2.1.3.	Propagación de la luz por medio de una fibra óptica.....	13
2.1.4.	Atenuación de la fibra.....	16
2.1.5.	Pérdidas - Reflexión de Fresnel.....	17
2.1.6.	Tipos de sistemas ópticos aéreos	18
2.1.7.	Cable Auto-soportado (ADSS)	19
2.1.8.	Equipo para la instalación de fibra óptica	21
2.2.	Tecnología de los enlace de Microonda	23
2.2.1.	Introducción.....	23
2.2.2.	Sistema simplificado de radio de microondas FM/PM	25
2.2.3.	Diversidad en el sistema.....	27
2.2.4.	Conmutación de protección.....	30
2.2.5.	Características de trayectoria	32
2.2.6.	Antenas para enlaces de microondas.....	36
2.2.7.	Torres para instalación de antenas.....	38
3	DESARROLLO	41
3.1.	Datos para enlace en fibra óptica.....	41
3.1.1.	Atenuación en fibras ópticas de plástico y fibras ópticas de vidrio.	41
3.1.2.	Presupuesto óptico de los enlaces.....	47

3.2.	Datos para enlace microonda	56
3.2.1.	Ubicación de subestaciones eléctricas y agencias ICE	56
3.2.2.	Ubicación de puntos de enlace en el simulador Radio Mobile	59
3.2.3.	Distancia y línea vista entre Subestaciones Eléctricas y Agencias ICE	61
3.2.4.	Presupuesto inalámbrico del enlace.....	66
3.3.	Tipo de servicio y ancho de banda	69
3.3.1.	Servicio de VOZ IP	69
3.3.2.	Servicio de Videoconferencia IP	70
3.3.3.	Acceso a servidores y aplicaciones remotas	71
3.4.	Enlace Subestación de Cóncavas con Agencia de Cartago	77
3.4.1.	Enlace Cóncavas-Cartago por medio de fibra óptica	77
3.4.2.	Enlace Cóncavas-Cartago por medio de microonda.....	87
4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	90
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
5.1.	Conclusiones	102
5.2.	Recomendaciones	104
6	BIBLIOGRAFÍA.....	106
7	APÉNDICES.....	108
7.1.	Glosario, abreviaturas y simbología	108
7.2.	Anexos	110
7.2.1.	Hojas de datos.....	110
7.2.2.	Tablas de resultados.....	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Módulos Emisores.....	42
Tabla 3.2 Módulos Receptores.....	42
Tabla 3.3 Tipos de fibra de óptica.....	42
Tabla 3.4 Resultados obtenidos utilizando el emisor 4180.5.....	44
Tabla 3.5 Resultados obtenidos utilizando el emisor 4180.6.....	45
Tabla 3.6 Tensión y valores de atenuación para el diodo emisor 4180.12 para diferentes longitudes con fibra de vidrio.....	46
Tabla 3.7 Tensión y valores de atenuación para el diodo emisor 4180.13 para diferentes longitudes con fibra de vidrio.....	46
Tabla 3.8 Distancias entre subestaciones eléctricas y Agencias ICE en la Región Huertar-Brunca.48	
Tabla 3.9 Distancias entre subestaciones eléctricas y Agencias ICE en la Región Chorotega.....	49
Tabla 3.10 Distancias entre subestaciones eléctricas y Agencias ICE en la Región Central.....	50
Tabla 3.11 Total de tendido de fibra óptica para las 41 Agencias ICE.....	50
Tabla 3.12 Pérdidas para 1310nm y 1550nm correspondiente a los enlaces de la Región Chorotega.....	53
Tabla 3.13 Pérdidas para 1310nm y 1550nm correspondiente a los enlaces de la Región Huertar-Brunca.....	54
Tabla 3.14 Pérdidas para 1310nm y 1550nm correspondiente a los enlaces de la Región Central..	55
Tabla 3.15 Ubicación de las subestaciones eléctricas en coordenadas geográficas.....	57
Tabla 3.16 Ubicación de las agencias correspondientes a la región Pacífico Central y Central en coordenadas geográficas.....	58
Tabla 3.17 Distancias entre subestaciones eléctricas y Agencias ICE en la Región Central.....	61
Tabla 3.18 Distancias entre subestaciones eléctricas y Agencias ICE en la Región Huertar-Brunca.....	62
Tabla 3.19 Distancias entre subestaciones eléctricas y Agencias ICE en la Chorotega.....	63
Tabla 3.20 Distancia total en línea vista para 19 Agencias ICE.....	65
Tabla 3.21 Parámetros para el cálculo teórico del presupuesto inalámbrico del enlace.....	66
Tabla 3.22 Recomendaciones según ITU para asignación de frecuencias según la distancia.....	66
Tabla 3.23 Distancias entre subestaciones eléctricas y Agencias ICE en la Chorotega.....	67
Tabla 3.24 Distancias entre subestaciones eléctricas y Agencias ICE en la Región Huertar-Brunca.....	68
Tabla 3.25 Distancias entre subestaciones eléctricas y Agencias ICE en la Región Central.....	68
Tabla 3.26 Anchos de banda para servicios de videoconferencia.....	71
Tabla 3.27 Bits recibidos y transmitidos durante el periodo de 3 meses.....	73
Tabla 3.28 Bits recibidos y transmitidos durante el periodo de muestreo de 3 días.....	74
Tabla 3.29 Máximo de bits recibidos y transmitidos durante el periodo de muestreo de 3 días.....	76
Tabla 3.30 Características de los cables de fibra óptica ADSS y LASHED.....	81
Tabla 3.31 Tabla comparativa entre las fibras ópticas de All Wave y General Cable con respecto a su atenuación.....	82
Tabla 3.32 Presupuesto óptico para enlace Cóncavas – Agencia Cartago.....	82

Tabla 3.33 Costos de materiales para la instalación del enlace Cónavas – Agencia Cartago.	85
Tabla 3.34 Costos de instalación para el enlace Cónavas – Agencia Cartago.....	86
Tabla 3.35 Datos técnicos de los productos IP10 de Ceragon para un enlace de 18GHz.	88
Tabla 3.36 Resultados obtenidos de las pérdidas generadas por el enlace “Cónavas-Cartago”	88
Tabla 3.37 Tabla de confiabilidad de un enlace.	89
Tabla 4.1 Distribución de enlaces por medio de fibra óptica según su distancia.	91
Tabla 4.2 Distribución de enlaces por medio de microonda según su distancia.	95
Tabla 4.3 Anchos de banda para distintas bandas de frecuencias según ITU.	98
Tabla 7.1 Ubicación geográfica de las subestaciones eléctricas restantes	115
Tabla 7.2 Bits recibidos y transmitidos durante el periodo de muestreo de los días 4, 5 y 6.....	116
Tabla 7.3 Máximos de recibidos y transmitidos durante el periodo de muestreo de los días 4, 5 y 6.	116
Tabla 7.4 Ubicación de las agencias correspondientes a la región Chorotega en coordenadas geográficas	117
Tabla 7.5 Ubicación de las agencias correspondientes a la región Brunca en coordenadas geográficas	118
Tabla 7.6 Ubicación de las agencias correspondientes a la región Huetar en coordenadas geográficas	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de un Smart Grid.	2
Figura 1.2 Red MPLS de Subestaciones Eléctricas.	4
Figura 2.1 Imagen de un enlace de fibra óptica simulado mediante OptiSystem.	10
Figura 2.2 Construcción de fibra óptica.	11
Figura 2.3 Angulo de reflexión y refracción.	11
Figura 2.4 Reflexión interna total.	12
Figura 2.5 Fibras ópticas multimodo, monomodo, escalonado y graduado.	14
Figura 2.6 Fibras ópticas multimodo y monomodo.	15
Figura 2.7 Mecanismos de pérdida en la fibra óptica.	17
Figura 2.8 Estructura de cable óptico concéntrico.	20
Figura 2.9 Estructura de cable óptico figura 8.	20
Figura 2.10 Tipos de conectores.	21
Figura 2.11 Empalmes para conexiones de fibra óptica.	22
Figura 2.12 Diagrama de bloques de transmisor.	25
Figura 2.13 Diagrama de bloques de receptor.	26
Figura 2.14 Diagrama de un enlace con repetidor.	27
Figura 2.15 Diagrama de un sistema con diversidad de frecuencias.	28
Figura 2.16 Diagrama de un sistema con diversidad de espacio.	29
Figura 2.17 Diagrama de un sistema con respaldo de línea.	30
Figura 2.18 Diagrama de un sistema con diversidad.	31
Figura 2.19 Diagrama de las zonas de Fresnel.	33
Figura 2.20 Tipos de antenas según su tipo de alimentación para enlaces microonda.	38
Figura 2.21 Torre Arriostrada.	39
Figura 2.22 Torre Auto Soportada.	40
Figura 2.23 Torre Monopolo.	40
Figura 3.1 Circuito de medición para la atenuación de diodos emisores.	43
Figura 3.2 Gráfica de atenuación en función de la longitud de las fibras para el diodo emisor 4180.5	44
Figura 3.3 Gráfica de atenuación en función de la longitud de las fibras para el diodo emisor 4180.6	45
Figura 3.4 Circuito de medición de la atenuación en diodos emisores con fibra de vidrio.	46
Figura 3.5 Ubicación de las Subestaciones Eléctricas y Agencias del ICE en el territorio nacional.	60
Figura 3.6 Línea vista en RadioMobile entre la Subestación de Liberia con la Agencia ICE de Bagaces.	64
Figura 3.7 Línea vista en RadioMobile entre la Subestación de Barranca con la Agencia ICE de Puntarenas.	64
Figura 3.8 Gráfico del tráfico de bits para una videoconferencia.	71

Figura 3.9 Tráfico de bits en el puerto que enlaza el bunker de la Subestación La Caja con el Router de Acceso a la UENPE.....	72
Figura 3.10 Tráfico de bits en el puerto que enlaza el bunker de la Subestación La Caja con el Router de Acceso a la UENPE en un día.	75
Figura 3.11 Tráfico de bits en el puerto que enlaza el bunker de la Subestación Cariblanco con el Router de Acceso a la UENPE en un día.	76
Figura 3.12 Mapa de Google Maps que muestra la ruta en fibra óptica para en enlace Subestación Cóncavas – Agencia Cartago.	78
Figura 3.13 GPS Etrex-GARMIN.	79
Figura 3.14 Transceiver MGBC-20 de Stratos Lightwave.....	83
Figura 3.15 Switch FastIron LS 624-STk.	84
Figura 3.16 Línea vista en RadioMobile entre la Subestación Cóncavas con la Agencia ICE de Cartago.	87
Figura 4.1 Gráfico de porcentajes en relación a la distancia de los enlaces de fibra óptica.....	91
Figura 4.2 Gráfico del comportamiento atenuación vs distancia.	92
Figura 4.3 Enlaces con topología en estrella con y sin repetidora.	93
Figura 4.4 Línea vista de cobertura para las Agencias ICE de la costa del Pacífica.	94
Figura 4.5 Gráfico de porcentajes en relación a la distancia de los enlaces de microonda.	96
Figura 4.6 Gráfico del comportamiento de las pérdidas de propagación vs distancia para 18GHz.	97

1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, las tecnologías de comunicación han tenido una gran evolución y crecimiento. Ahora existe la necesidad de estar enlazados por medio de redes de computadoras para adquirir y brindar información. Las empresas, así como las personas en sus hogares y dispositivos móviles, demandan transferencias de datos a altas velocidades, grandes anchos de banda y un medio seguro para enviar y recibir datos. En la actualidad, gracias a los rápidos avances tecnológicos en las redes de computadoras, se ofrecen velocidades en magnitudes de Gigas, alta seguridad en datos, y nos brindan una manera más sencilla de obtener y compartir información. En este momento, los medios utilizados para realizar conexiones de alta velocidad y confiabilidad, son el aire por medio de microonda y el cableado utilizando fibra óptica. Ambos medios tienen sus fortalezas y debilidades, y su implementación dependerá de las necesidades y requerimientos que los usuarios demanden.

Gracias a la velocidad y confiabilidad de las redes de computadoras, estas se han incorporando paulatinamente en los sistemas eléctricos de alta potencia, dando la facilidad de poder controlar y monitorear dispositivos de forma remota, así como el poder obtener información sobre los eventos que ocurren dentro de la red eléctrica en tiempo real. Esta incorporación de las comunicaciones, genera la posibilidad de brindar un servicio más seguro y confiable al cliente, y una producción y distribución de electricidad más eficiente.

En nuestro país, el Instituto Costarricense de Electricidad es la institución estatal encargada de la producción y distribución de energía eléctrica. Hoy en día, el ICE está en el proceso de integrar las tecnologías de comunicación en toda su red eléctrica, donde ya gran parte de esta red se encuentra interconectada por medio de paquetes TCP/IP¹.

El propósito de este trabajo, es evaluar las tecnologías de fibra óptica y las tecnologías de microonda para continuar con la expansión de la red de comunicación en el sistema eléctrico nacional.

¹ TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*)

CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN

1.1. Entorno del Proyecto

El ICE ha iniciado el desarrollo de un proyecto denominado Smart Grid (Red Inteligente) para su red eléctrica. El Smart Grid consiste en la implementación de una plataforma de comunicación bidireccional entre todos los distintos actores del sector eléctrico (plantas de producción de energía, subestaciones eléctricas, clientes, etc.), esto con el fin adquirir la información generada en cada sector para la toma de decisiones y ejercer control sobre la red eléctrica.

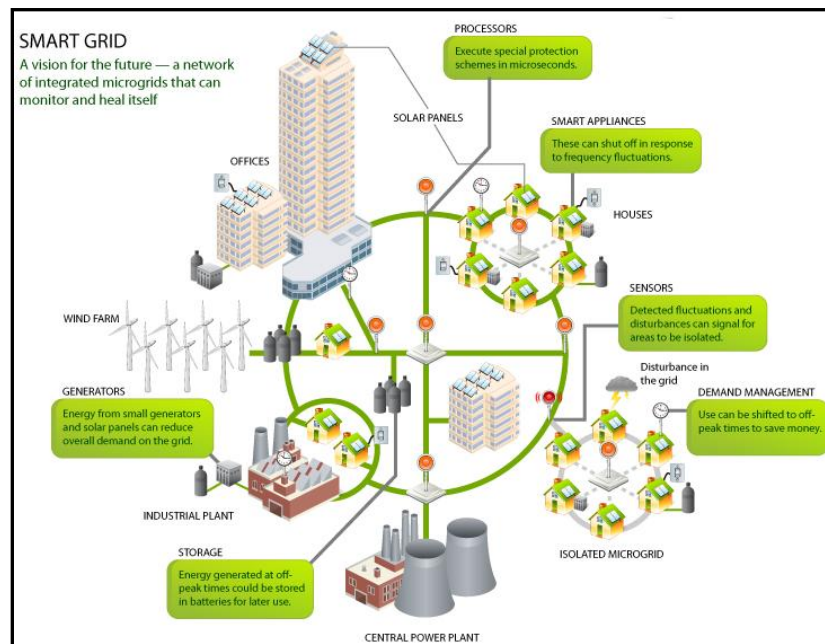


Figura 1.1 Esquema de un Smart Grid. (Tomada de <http://www.iteresgroup.com>)

El ICE cuenta con una red de comunicación por medio de paquetes TCP/IP que enlaza todas las subestaciones eléctricas y plantas generadoras de electricidad. Dicha red brinda conectividad de banda ancha a las subestaciones eléctricas, dando la posibilidad de obtener un monitoreo en tiempo real de los equipos de medición y los equipos de control de forma remota en plantas y subestaciones, así como el brindar acceso a servidores FTP, telefónica IP, entre otros servicios.

CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento de la red actual y las distintas necesidades que se generan, el ICE está en el proceso de implementar una red mucho más robusta y confiable por medio de la instalación de una plataforma de comunicación MPLS². Esta red MPLS aumentará el ancho de banda de los enlaces en magnitud, que pasarán a ser de Megas a Gigas, lo que dará la posibilidad de integrar más servicios para ofrecer al sector interno y/o externo del ICE.

Debido a esta situación con la nueva red MPLS, y a la idea de continuar con el crecimiento del Smart Grid, el sector Energía del ICE desea integrar las Agencias ICE a esta plataforma de comunicación. Esta integración de las Agencias de Servicios a la red de comunicación MPLS es necesaria, ya que las Agencias de Servicios reciben y almacenan la información de cada uno de los consumidores de energía eléctrica. Las Agencias de Servicios serían los puntos donde se recolectará la información proveniente de cada cliente, para luego enviarla hacia el centro de control del sistema, donde se tomará esta información para la toma de decisiones en el manejo de la red eléctrica.

1.2. Justificación e importancia del proyecto

El objetivo inicial de integrar las Agencias ICE a la red MPLS, sería obtener un manejo estadístico de los consumos de cada uno de los contribuyentes, así como el ofrecer distintos servicios a cada una de las agencias, que actualmente se les brinda a las subestaciones y plantas eléctricas. La meta a futuro con la integración de las agencias a la red MPLS, es que las Agencias ICE serían los focos para la recolección de datos, en tiempo real, del consumo de cada uno de los clientes. Por lo que el enlace de comunicación “Subestación-Agencia”, sería el encargado de transportar hacia el sistema de control central y viceversa, la información proveniente de sensores, medidores y electrodomésticos inteligentes que posee cada consumidor, esto con el fin de tener una red eléctrica automatizada y controlada en su totalidad.

² MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) es un método que contiene una serie de especificaciones usadas para enrutar los paquetes a través de una red.

CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN

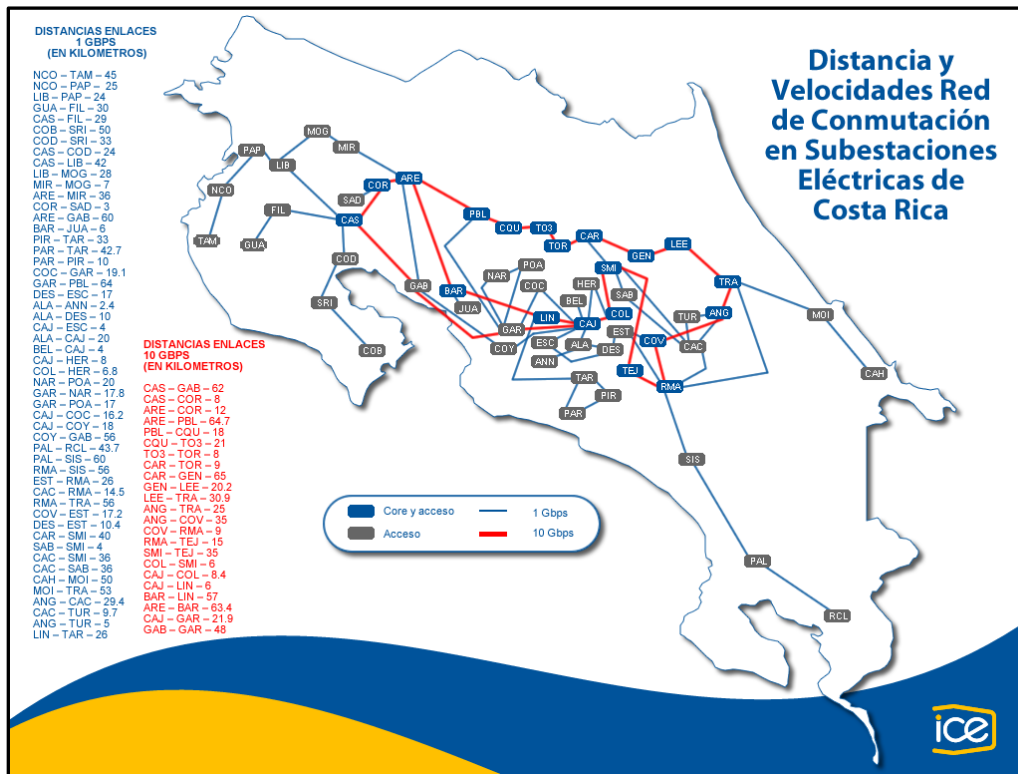


Figura 1.2 Red MPLS de Subestaciones Eléctricas. (Imagen facilitada por ICE UENTE)

La generación de esta red de comunicación dará la posibilidad de que los usuarios tengan un mayor control sobre su consumo energético en sus empresas y hogares. También facilitaría a la empresa encargada de la producción, transporte y distribución de energía, tener un monitoreo en tiempo real del consumo de cada uno de sus clientes, así como también tener una supervisión de los acontecimientos que se generan dentro de toda la red eléctrica y ejercer un control sobre esta.

Por lo tanto, la implementación de los enlaces “Subestación-Agencia” y el crecimiento del Smart Grid incorporarían una serie de funciones que generarían una red eléctrica más eficiente y segura. Así como la posibilidad de utilizar estos enlaces para ofrecer una variedad servicios a empresas externas/internas del ICE, que le podrían generar ingresos económicos a la institución.

CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN

Pero actualmente, no existen los enlaces de comunicación que logren integrar las Agencias de Servicios del ICE con la red MPLS constituido por las subestaciones eléctricas y plantas generadoras de electricidad. Por lo que se hace necesaria la evaluación de los posibles medios de comunicación para implementar esta interconexión. Para el caso de este proyecto, se evaluará los enlaces por medio de fibra óptica y los enlaces por medio de microonda.

1.3. Meta y Objetivos

Meta

Realizar un estudio que evalúe la posible implementación de enlaces de comunicación que integren las Agencias de Servicios del ICE con la red MPLS (MPLS es un estándar utilizado para el transporte de datos que opera en las capas 2 y 3 del Modelo OSI), con el fin unificar las plantas generadoras de electricidad, subestaciones eléctricas y Agencias de Servicios en una sola red de comunicación, para continuar con la expansión del proyecto Smart Grid.

Objetivo General

Valorar las tecnologías de comunicación aplicables para brindar la solución de conectividad entre subestaciones eléctricas y Agencias del ICE, que cumpla con los requisitos y necesidades del Sector Electricidad del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Objetivos Específicos

- a) Evaluar de manera cualitativa y cuantitativa las características dadas por los enlaces de microonda y los enlaces de fibra óptica.
- b) Hacer una cuantificación y estimación del tipo de servicio de conectividad y ancho de banda que demanda cada agencia del ICE.
- c) Proponer un diseño de manera teórica por medio de fibra óptica y por medio de microonda para un enlace “Subestación eléctrica –Agencia ICE”, con su respectivo presupuesto de enlace y equipo requerido.
- d) Realizar un análisis económico en función a la instalación de fibra óptica adosada al tendido eléctrico y a la instalación de enlaces microondas con base al diseño propuesto en el objetivo anterior.

1.4. Alcances y limitaciones del proyecto

1.4.1. Alcances

El presente trabajo pretende analizar cuál es el medio más conveniente para lograr enlazar las Agencias ICE con las subestaciones eléctricas ICE, integrando las Agencias ICE a la plataforma de comunicación MPLS. Por lo tanto, se pretende investigar y analizar las ventajas y desventajas que ofrecen los enlaces por medio de microonda y los enlaces por medio de fibra óptica.

Con este trabajo se desea tener una idea inicial de los alcances, costos y beneficios que se podría generar con la implementación de cada una de estas tecnologías. Se tomarán únicamente las variables de distancias, posición geográfica y la topología de cada zona para el cálculo de valores teóricos en relación al presupuesto del enlace, y los elementos (materiales y equipos) que rodean la implementación de dichos enlaces.

También se realizarán pruebas entre las fibras de vidrio y las fibras de plástico para elegir la más adecuada para este tipo de enlaces, así como verificar lo que la literatura que indica respecto a estos dos tipos de fibras.

Posteriormente se realizará un estudio para obtener una noción de la cantidad de tráfico (bits por segundo) que se podría generar en dichos enlaces, esto con la ayuda de un estudio de los posibles servicios a ofrecer, y un software encargado de medir la cantidad de tráfico que transita en una red TCP/IP.

Finalmente se realizará el diseño para un único enlace, el cual dará una muestra de las características que rodean la implementación de los enlaces por medio de microonda y los enlaces por medio de fibra óptica. Con base a este diseño se calculará un presupuesto económico, que nos dará la posibilidad de tener una idea de la magnitud que puede tener cada uno de los enlaces restantes, y obtener una muestra de que tan factible es cada tecnología en relación a lo económico y tecnológico.

1.4.2. Limitaciones

Al ser un proyecto en su fase inicial, el análisis de factibilidad y diseño de los enlaces de microondas y los enlaces de fibra óptica no serán tan profundos como se deseara, ya que no se cuenta con los materiales, el tiempo y el presupuesto para poder realizar los procedimientos necesarios para obtener un cálculo más minucioso con relación al valor económico de cada enlace, así como la realización de pruebas de campo pertinentes para el diseño de los enlaces.

Tanto los enlaces de microonda como lo enlaces de fibra, cuentan con una cantidad considerable de variables que son determinantes para el diseño específico de cada enlace. Al ser una gran cantidad de enlaces (41 enlaces en fibra óptica y 55 enlaces de microonda), se dificulta el profundizar con el diseño de cada enlace, ya que se necesita contar con una cantidad considerable de personal, así como la colaboración de las áreas de telecomunicaciones y fibra óptica del ICE. Hasta hace poco, iniciaron los primeros acercamientos hacia estas áreas para el desarrollo e implementación de los enlaces “Subestación-Agencia” por lo que aún no es posible obtener una ayuda más concreta con estas áreas.

También, debido a la información suministrada de distancias entre agencias y subestación, para el caso de los enlaces de fibra óptica solo se tomarán en cuenta un total de 41 Agencias de las 68 agencias ubicadas. Para el caso de los enlaces de microondas, se calcularán el presupuesto del enlace para 55 enlaces, en donde se tendrán en cuenta las variables teóricas para poder tener obtener un enlace punto a punto exitoso.

2 MARCO TEÓRICO

En esta sección se desarrollan los fundamentos y las principales características relacionadas con los enlaces mediante la tecnología de la Fibra Óptica y la tecnología de las Microondas. Esto con el objetivo de tener un panorama amplio de los principios físicos que rigen en ambas tecnologías, así como los elementos que son necesarios para la implementación de cada enlace, los criterios para el diseño y escogencia de la tecnología a implementar en los enlaces entre subestaciones de electricidad y agencias ICE.

2.1. Tecnología de los enlaces de Fibra Óptica

2.1.1. Introducción

La fibra óptica es el medio a través del cual se transmiten señales de comunicación en forma de luz guida a través de fibras delgadas de vidrio o plástico transparente. Dichas señales son pulsos digitales o rayos análogos de luz modulados que representan información.

Un enlace de información de fibra óptica está conformado con tres elementos:

- a) Emisor: Una fuente de luz (Láser o LED) la cual recibirá señales eléctricas provenientes de un equipo electrónico para convertirlas en señales de información óptica.
- b) Medio: La fibra transporta las señales ópticas hacia su destino. En el camino, según la distancia del enlace, será necesario la instalación de conectores, acopladores y/o empalmes.
- c) Receptor: El detector de luz (fotodiodo) es el encargado de recibir la señal óptica y convertirla en una señal eléctrica nuevamente. Mediante el equipo electrónico posterior del receptor, se procesará la señal para realizar la comunicación deseada.

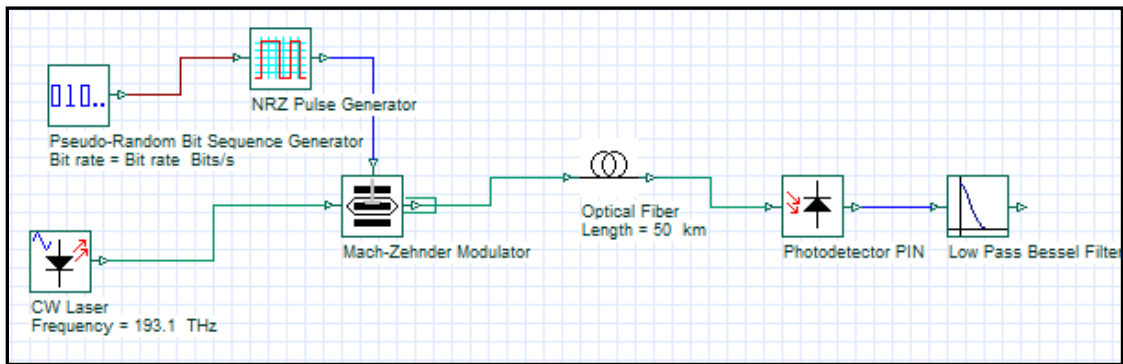


Figura 2.1 Imagen de un enlace de fibra óptica simulado mediante OptiSystem.

2.1.2. Fibra Óptica

Es un conductor óptico de forma cilíndrica que consta de un núcleo, un recubrimiento y una cubierta para proteger al conductor del medio ambiente.

El núcleo (*core*), es la parte interior de la fibra, que está fabricado con un material dieléctrico, normalmente vidrio de sílice (SiO_2) dopado con materiales como B_2O_3 , GeO_2 o P_2O_5 con el objetivo de ajustar su índice de refracción. Las fibras ópticas de vidrio son las más utilizadas en las aplicaciones de comunicación, aunque también se encuentran fibras con el núcleo de plástico o cuarzo fundido.

El revestimiento (*cladding*), que envuelve al núcleo, tiene índice de refracción menor al del núcleo, que permite atrapar la luz produciendo el fenómeno de la reflexión total interna. Esto quiere decir que como el núcleo al poseer un índice de refracción mayor que el de revestimiento, la luz se refleje totalmente en el revestimiento para todo rayo de luz que choque en un ángulo mayor que el ángulo crítico.

CAPÍTULO 2 – MARCO TEÓRICO

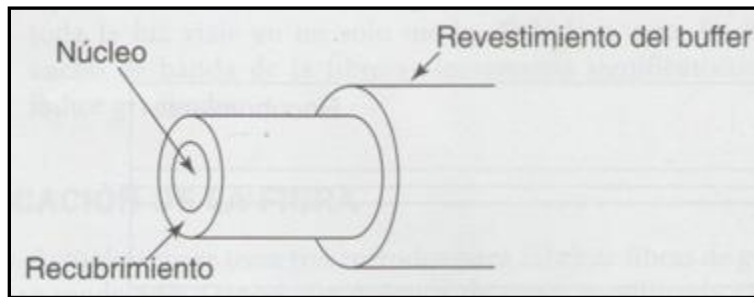


Figura 2.2 Construcción de fibra óptica. (Hayes, 2006)

El ángulo crítico es el ángulo de incidencia mínimo que produce un ángulo de refracción de 90° o más que permite que luz penetre al material menos denso, por lo tanto penetraría el revestimiento. Esta relación está dada por la ley de Snell:

$$\text{sen}\theta_1 = \frac{n_2}{n_1} \text{sen}\theta_2 \quad (1)$$

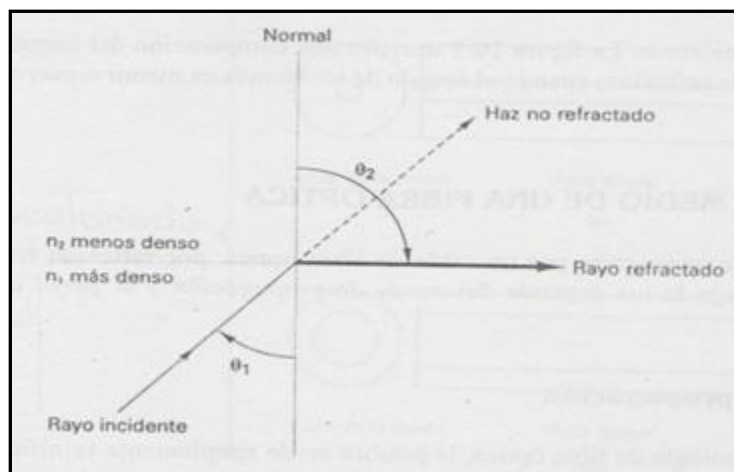


Figura 2.3 Ángulo de reflexión y refracción. (Hayes, 2006)

Si $\theta_2 = 90^\circ$

El ángulo crítico corresponde a:

$$\theta_c = \text{sen}^{-1} \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

Donde n_1 y n_2 corresponde al índice de refracción del núcleo y del revestimiento respectivamente.

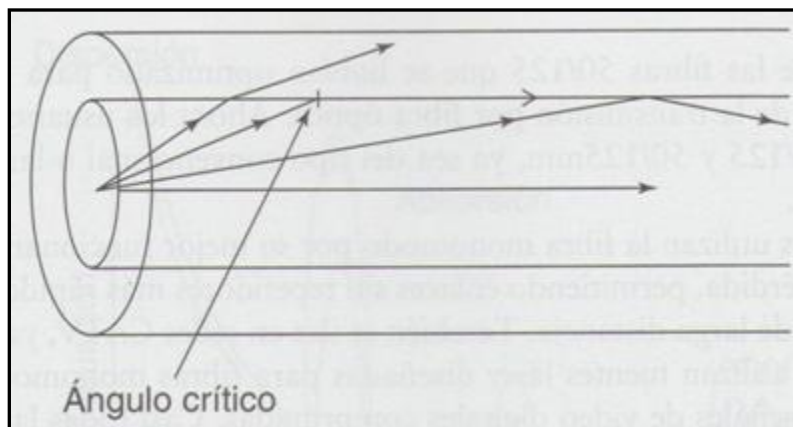


Figura 2.4 Reflexión interna total. (Hayes, 2006)

Finalmente, la cubierta también llamada buffer, generalmente fabricada en plástico, protege mecánicamente a los dos secciones anteriores, así como de daños físicos y humedad.

2.1.2.1. Ventajas y desventajas de los sistemas de fibra óptica

A continuación se menciona algunas ventajas y desventajas que se deben considerar a la hora de utilizar fibra óptica para un enlace de comunicación. Como se podrá ver, algunas de las ventajas son bastantes significantes en comparación al uso de cables de cobre o hasta el mismo aire como medio de comunicación.

Ventajas

1. Poseen anchos de banda más grandes debido a las frecuencias ópticas disponibles. Los cables metálicos limitan las frecuencias de transmisión y los anchos de banda, ya que actúan como filtros pasa-bajas.
2. Al ser las fibras de vidrio o plásticas no son conductores de electricidad, no se genera inducción magnética en ellas, siendo inmunes a transmisiones cruzadas, a diferencia de los cables metálicos.
3. Son inmunes a la interferencia estática causada por fuentes de ruido eléctrico, de igual manera no radian energía de RF por lo que tampoco causan interferencias a otros sistemas de comunicación.
4. Los cables de fibra son más resistentes a los climas extremos, y funcionan sobre una variación más grande de temperatura.
5. Son más seguras debido a que no hay corrientes eléctricas o voltajes asociados con ellas, por lo que se pueden usar cerca de líquidos y gases volátiles sin preocuparse que ocasionen explosiones o fuegos.

Desventajas

1. Alto costo inicial de instalar un sistema de fibra.
2. No han sido probados en largo períodos, ya que es una tecnología muy reciente.
3. El mantenimiento y reparación de los sistemas de fibra son más difíciles y costosos.

2.1.3. Propagación de la luz por medio de una fibra óptica

La propagación de la luz va a depender del modo de propagación y el perfil del índice de la fibra. En el caso del modo, tenemos la monomodo y la multimodo. En el perfil del índice tenemos dos tipos, el escalón y el graduado. A continuación se explica cada tipo de fibra óptica.

2.1.3.1. Perfil del índice

“El perfil del índice, es una representación gráfica del valor del índice refractivo, a través de la fibra. El índice refractivo está indicado en el eje horizontal y la distancia radial del eje del núcleo se grafica en el eje vertical” (Tomasi, 2003, pág. 786).

Como se mencionó al inicio de esta sección, existen dos tipos de perfiles de índice: escalón y graduado.

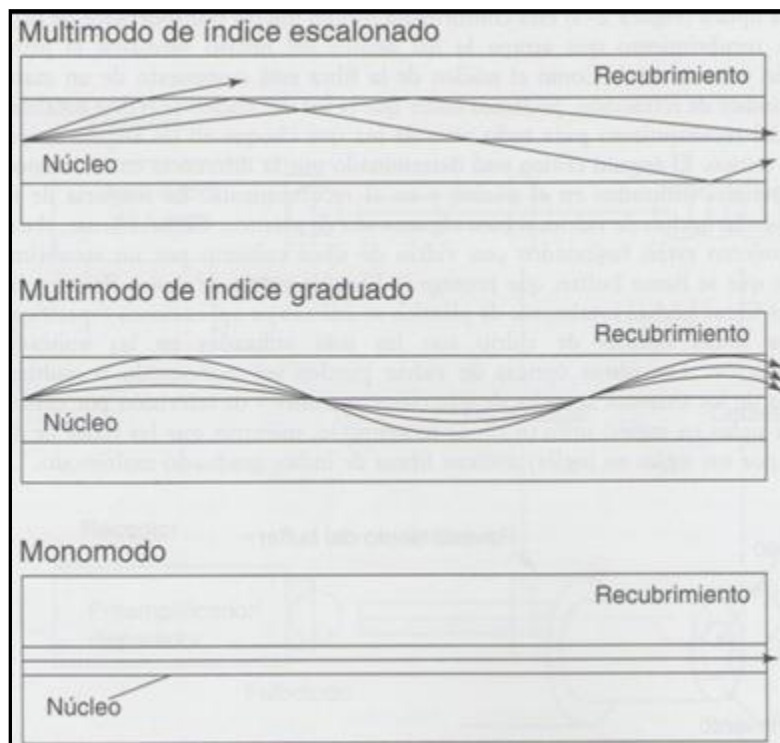


Figura 2.5 Fibras ópticas multimodo, monomodo, escalonado y graduado. (Hayes, 2006)

Índice de escalón: para este caso, el núcleo de la fibra está rodeado por una cubierta exterior con un índice refractivo uniforme, menor al del núcleo. Al igual que la cubierta, el núcleo también posee un índice refractivo uniforme.

Índice graduado: “en el índice graduado no existe cubierta, y el índice refractivo del núcleo no es uniforme; está más alto en el centro y disminuye gradualmente con la distancia hacia el borde externo” (Tomasi, 2003, pág. 786).

2.1.3.2. Modo de propagación

Existen dos tipos de modos de propagación, monomodo y multimodo, lo que corresponde a la o las trayectorias que la luz toma en el cable de fibra.

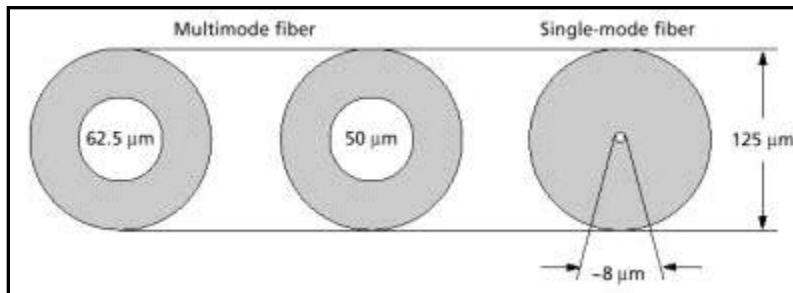


Figura 2.6 Fibras ópticas multimodo y monomodo. (Tomado de info-ab.uclm.es)

Fibra monomodo: Posee un núcleo menor a 9μm, lo que permite que exista una única trayectoria por donde la luz pueda viajar, así evitando la dispersión modal. Dificulta el acoplamiento de la luz, pero permite alcanzar mayores distancias y tasas de transmisión más elevadas. Al existir una sola trayectoria, el perfil de índice es de escalón.

La fibra óptica monomodo se utiliza para enlaces de largas distancias que van hasta los 100km de distancia, y son fabricados con fibra de vidrio.

Fibra multimodo: las fibras multimodo poseen un núcleo de 50μm ó 62.5μm, generando varias trayectorias para que la señal óptica se propague. Esto da como resultado que no todos los rayos duren una misma cantidad de tiempo para llegar al receptor. Las fibras multimodo pueden tener un diseño de índice graduado o escalonado.

Las fibras multimodo pueden ser de vidrio o plástico, aunque para largas distancias las fibras de plástico no se utilizan debido a que tienen una atenuación alta y un ancho de banda menor que las fibras de vidrio. Sin embargo, la fibra óptica plástica puede ser útil para tramos cortos, como por ejemplo de la calle al hogar o la oficina.

En general, la fibra óptica multimodo se utiliza usualmente para cortas distancias entre 0.5 y 4km, en cambio la fibra óptica monomodo se usa para largas distancias entre 4 y 100km.

2.1.4. Atenuación de la fibra

La absorción y dispersión son los dos factores determinantes para que una señal óptica se atenúe. La absorción se produce por la absorción de luz y su conversión en calor por medio de las moléculas del vidrio. Los residuos de OH^+ y los dopantes que se utilizan para modificar el índice de refracción del vidrio son los responsables de la absorción del haz de luz.

La dispersión se produce cuando la luz choca con los átomos individuales de vidrio, lo que provoca que la luz viaje en ángulos fuera del ángulo crítico de la fibra, haciendo que la señal sea absorbida por el recubrimiento o que se disperse en todas direcciones. Por esta razón la dispersión es la causa más importante de la atenuación.

“La dispersión es también una función de la longitud de onda, proporcional a la inversa de la cuarta potencia de la longitud de onda de la luz. Así, si se duplica la longitud de onda de la luz, se reducirá las pérdidas por dispersión en 24 ó 16 veces.

Los sistemas de fibra óptica transmiten en las ventanas creadas entre las bandas de absorción a 850nm, 1300nm y 1550nm” (Hayes, 2006, pág. 27).

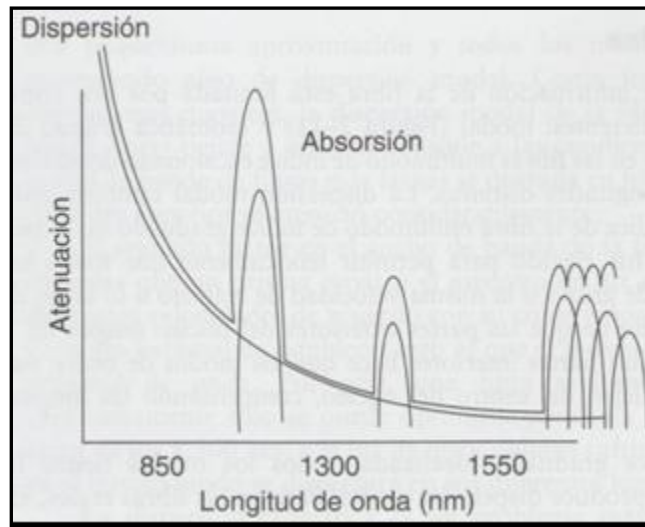


Figura 2.7 Mecanismos de pérdida en la fibra óptica. (Hayes, 2006)

La atenuación en la primera ventana es de aproximadamente de 2.5 dB/km, en la segunda es de 0.35 dB/km y en la tercera ventana de 0.25 dB/km. La atenuación tiende a disminuir conforme aumenta la longitud de onda. Además existen una serie de picos de absorción debido a ion OH⁻.

La fibra plástica tiene una banda de longitud de onda más limitada que limita el uso práctico a las fuentes LED de 660nm

2.1.5. Pérdidas - Reflexión de Fresnel

La expresión general que permite el cálculo de pérdidas es la siguiente:

$$Pérdidas_{dB} = -10 \log_{10} \eta = -10 \log_{10} \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (3)$$

η es el coeficiente de acoplamiento.

Este tipo de pérdida es la que tiene lugar debido a un salto o variación del índice de refracción en la interfaz de la unión, de manera que una pequeña proporción de luz puede ser reflejada hacia la fibra transmisora. La expresión que caracteriza estas pérdidas es la siguiente:

$$Pérdidas_{Fresnel} = -10 \log_{10} (1-r)^2 = -20 \log_{10} (1-r) \quad (4)$$

donde r es la reflectividad, que viene determinada por:

$$r = \left(\frac{n_1 - n}{n_1 + n} \right)^2 \quad (5)$$

siendo n_1 y n los índices de refracción del núcleo de las fibras y del medio entre ellas respectivamente.

2.1.6. Tipos de sistemas ópticos aéreos

Para la instalación de fibra óptica en tendido eléctrico, existen diferentes tipos de métodos para la disposición de sistemas ópticos aéreos, los cuales se explican a continuación:

- **Sistema de cableado hilo guarda (OPGW):** El cable se instala como cable guarda en las líneas eléctricas de alta tensión, por lo que su función es doble, servir como cable a tierra para la protección de las líneas de transmisión y como medio de comunicación, ya que posee una serie de fibras ópticas en su interior. Este tipo de cable está construido para soportar ambientes climáticos críticos.
- **Conductores ópticos de fase (OPPC):** Es un cable similar al OPGW, pero en este caso la fibra óptica está incorporada en los cables de fase. Aquí será necesario la instalación de aisladores, por lo que aumenta los costosos.

- **Sistema de cable Auto-soportado (ADSS):** Posee una alta resistencia mecánica, y con elementos de suspensión incorporados que permiten su fijación directa en postes y torres de transmisión. Es un cable totalmente dieléctrico, no son afectado por la caída de rayos ni interferencias, debido a la carencia de elementos metálicos. Diseñado para instalar a lo largo de líneas eléctricas de transmisión y distribución.
- **Sistema de cable Adosado (Ad-Lash):** Cable de fibra óptica no auto-soportados poseen un diseño totalmente dieléctrico. Este tipo de cable se instalada adhiriéndolos a los cables existentes en las líneas de transmisión de alto voltaje para el hilo de guarda, o al conductor de fase. Este tipo de cable es más delicado en comparación a los ADSS, ya que al ser adheridos a las líneas de transmisión, si la línea se llegada a romper, el cable adosado pierde totalmente su soporte. El cable adosado poseen un costo más bajo debido a que su construcción es más simple, tiene un desempeño menor comparado con el cable ADSS.

2.1.7. Cable Auto-soportado (ADSS)

Para el caso particular de este proyecto, la instalación de fibra óptica se realizará con cable ADSS, ya que este cable es el adecuado para la instalación en postes de electricidad. Básicamente existen tres tipos de cables ópticos ADSS disponibles en el mercado.

- **Cable óptico Concéntrico**

El cable óptico concéntrico contiene un elemento de soporte dieléctrico aplicado debajo o dentro del revestimiento externo, que resulta en una sección transversal circular. Consta de otro revestimiento interno de polietileno aplicado para envolver al núcleo óptico, suministrando una mayor protección a la fibra. Sobre si mismo, son aplicados los elementos de sustentación dieléctrica de lavado reforzado, otorgando al cable una resistencia de tracción adecuada. Por último, aplicado el revestimiento externo de polietileno y sobre los elementos de sustentación, se suministra protección mecánica y ambiental.

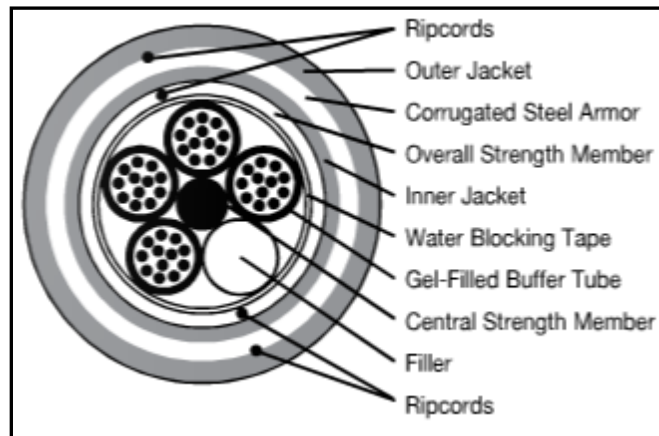


Figura 2.8 Estructura de cable óptico concéntrico. (Tomado del catálogo digital General Cable)

- **El cable óptico Figura "8"**

El cable óptico Figura "8", tiene un revestimiento extra de polietileno que envuelve al cable óptico dieléctrico y al elemento de sustentación externo no metálico. Lo cual proporciona la necesaria resistencia a la tracción. Asimismo la sección transversal tiene la forma de ocho.

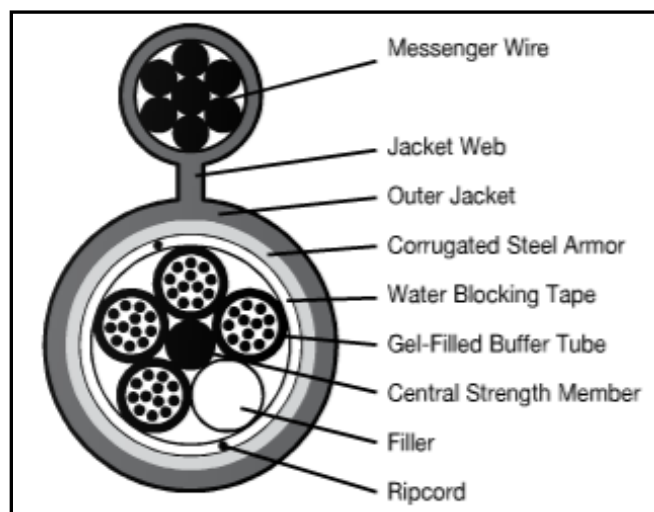


Figura 2.9 Estructura de cable óptico figura 8. (Tomado del catálogo digital General Cable)

2.1.8. Equipo para la instalación de fibra óptica

A continuación se explican algunos de los equipos necesarios para la instalación de fibras ópticas, los cuales son importantes para el cálculo del presupuesto óptico del enlace.

- **Conectores**

Los conectores hacen la unión temporal entre los extremos de la fibra. La atenuación es la especificación más importante y mide la pérdida de transferencia de señal entre dos fibras. Se incluye: separación de superficies frontales, des alineamiento de ejes y por ángulo de inclinación.

En el caso de los conectores de fibra, las pérdidas permitidas para conectores de fibra monomodo están, en el rango de 0.1 a 1.0dB por par de conectores acoplados, y la pérdida de retorno típica debe ser mayor a 30dB. Los conectores multimodo tienen una pérdida de conector nominal menor de 0.75dB por par de conectores acoplados con una pérdida de retorno típica mayor s 25dB.



Figura 2.10 Tipos de conectores. (Tomado de <http://www.fibraopticahoy.com>)

- **Empalmes**

Los empalmes son uniones permanentes entre dos extremos de fibra con menos atenuación que los conectores. Los factores que influyen en la atenuación son similares a los del conector.



Figura 2.11 Empalmes para conexiones de fibra óptica. (Tomado de <http://www.fibraoptica hoy.com>)

Existen varios métodos para realizar un empalme de fibra óptica, uno de estos métodos es derretir los extremos de las fibras o mantener las fibras juntas por presión o engomado. Las pérdidas típicas permitidas para empalmes en fibras monomodo son hasta 0.15dB y con una pérdida de retorno de más de 50dB.

- **Acopladores**

Los acopladores conectan tres o más puntos. Ya que la señal es dividida en varios puertos, se obtiene una reducción en su magnitud, por lo tanto muchos acopladores (activos) incluyen un receptor y un transmisor para compensar las señales. Los acopladores se caracterizan según su número de puertos, sensibilidad direccional, tipo de fibra, si el acoplador es pasivo o activo, selectividad de longitud de onda y requisitos de potencia. En el caso de los acopladores pasivos, la potencia de salida es igual a la potencia de entrada.

2.2. Tecnología de los enlace de Microonda

2.2.1. Introducción

En esta sección se realiza una pequeña introducción a los aspectos teóricos que se toman en cuenta a la hora de desarrollar un enlace de microondas. También se enfatizan algunas características que se deben implementar para este tipo de enlace, para lograr aumentar su confiabilidad y su disponibilidad.

Microonda se le denomina a la porción del espectro electromagnético que cubre las frecuencias entre aproximadamente 2 GHz y 300 GHz, que corresponden a la longitud de onda en vacío entre 10 cm. y 1mm. En los enlaces de microondas se utiliza la modulación FM/PM en lugar de la AM, ya que esta última es más sensible a los procesos no lineales de la amplitud inherentes en los amplificadores de banda ancha.

En los sistemas de AM, el ruido de intermodulación producido por los sistemas no lineales, es función de la amplitud de la señal, en cambio, para los sistemas de FM/PM es una función de la amplitud de señal y de la magnitud de la desviación de frecuencias. Otro punto a favor de la modulación en frecuencia es ser menos sensible al ruido aleatorio, por lo tanto, se puede propagar con menos potencia de transmisión. (Tomasi, 2003)

Las frecuencias de microondas que se utilizan actualmente en forma más común son las bandas de 2, 4, 6, 12 y 14GHz. (Tomasi, 2003). El factor limitante de la propagación de la señal en enlaces microondas es la distancia que se debe cubrir entre el transmisor y el receptor, además esta distancia debe ser libre de obstáculos. También otro aspecto importante a tomar en cuenta es que el camino de la señal debe de estar a una altura mínima sobre los obstáculos en la vía, para compensar este efecto se utilizan torres para ajustar dichas alturas.

2.2.1.1. Ventajas y desventajas de los sistemas de microondas

A continuación se menciona algunas ventajas y desventajas que se deben considerar a la hora de utilizar microondas para un enlace de comunicación.

Ventajas:

- a) Capacidad de enlaces distantes.
- b) Habilidad para sobreponerse a obstáculos.
- c) Capacidad de tasas de transmisión altas.
- d) Rápida recuperación de la inversión.
- e) Instalación e implementación rápida.
- f) Menos afectados por desastres naturales.
- g) Menos propenso a daños accidentales.
- h) La seguridad de un solo punto y fácil mantenimiento

Desventajas:

- a) Requerimientos de licencia de SUTEL.
- b) Coordinación de rutas y frecuencias.
- c) Se requiere terreno para las torres.
- d) Requerimientos de línea vista.
- e) Calidad de la señal depende de las condiciones climáticas.
- f) Retrasos para la obtención de las licencias.
- g) Ancho de banda limitado.
- h) Requerimientos de una porción considerable del espectro para obtener grandes anchos de banda.

2.2.2. Sistema simplificado de radio de microondas FM/PM

2.2.2.1. Transmisor de radio de microondas

El transmisor de microondas posee una primera etapa en la cual se proporciona un impulso a la amplitud de las frecuencias de banda base más altas. Esta etapa es llamada red de preénfasis. Una red de preénfasis permite que las frecuencias de banda base más bajas se modulen en frecuencia con la frecuencia intermedia (IF), mientras para las frecuencias de banda base altas se realiza una modulación en fase. Esta etapa se realiza antes de realizar la modulación, ya que asegura una relación señal a ruido más uniforme que si se realizara luego de la modulación.

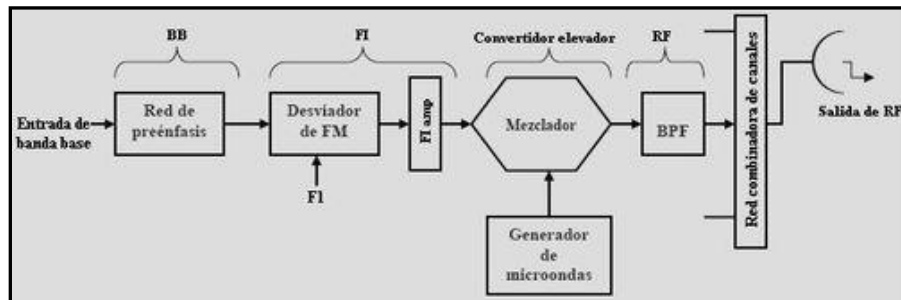


Figura 2.12 Diagrama de bloques de transmisor. (Tomasi, 2003)

Luego, la señal entra a un desviador de FM, el cual proporciona la modulación de la portadora de IF que se convierte en la portadora principal de microondas. Si las frecuencias de la portadora de IF se encuentran entre 60 y 80MHz, se utiliza un índice de modulación entre 0.5 y 1 en el desviador de FM, lo cual produce una señal de banda angosta en la salida. Dicha señal pasa por un mezclador con el objetivo de trasladar las frecuencias de IF a frecuencias de RF, donde el índice de modulación no se vea afectado.

2.2.2.2. Receptor de radio de microondas

Aquí las señales RF de entrada se convierten en frecuencias IF, para luego desmodular dichas señales por medio de un detector de FM convencional. Este proceso es llamado heterodinaje. Finalmente la señal llega a una red de deénfasis la cual restaura la señal en banda base con su amplitud original.

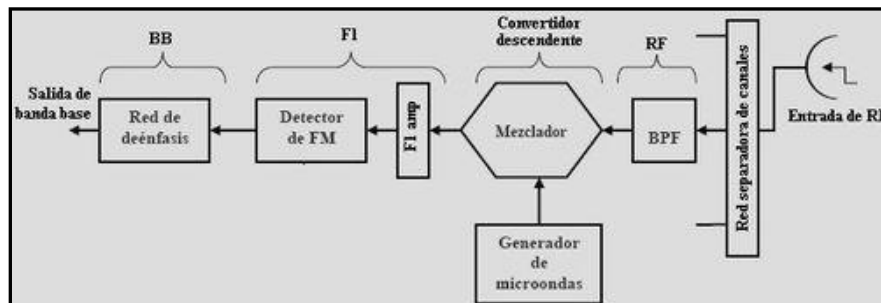


Figura 2.13 Diagrama de bloques de receptor. (Tomasi, 2003)

2.2.2.3. Repetidores de radiomicroondas de FM/PM

La distancia permisible de un enlace de microonda entre un transmisor y un receptor va a depender de variables como la potencia de transmisión, susceptibilidad del receptor, condiciones atmosféricas, terreno, capacidad del sistema, etc. Esta distancia está entre los 25 y 45 kilómetros, aunque existen sistemas pueden trabajar a distancias superiores. Cuando la señal se atenúa y se corre peligro de perder la información, o existen obstáculos geográficos, como montañas, que bloquean la ruta de transmisión, se necesario utilizar los repetidores. Un repetidor de microondas es un receptor y un transmisor, el cual se encarga de recibir la señal, luego amplificarla y retransmitirla hacia el siguiente repetidor o estación terminal.

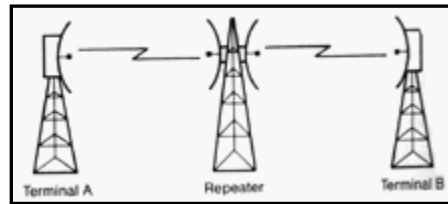


Figura 2.14 Diagrama de un enlace con repetidor.

Hay dos tipos de repetidores: los banda base y los heterodinos. “Con un repetidor heterodino, la portadora de RF recibida se convierte en forma descendente a una frecuencia de IF, amplificada y con nueva forma, se convierte ascendentemente a un frecuencia de RF, para luego ser transmitida. La señal nunca se demodula debajo de IF (Tomasi, 2003, pág. 694).”

Con un receptor de banda base, la portadora de RF recibida se convierte descendentemente a una frecuencia de IF, se amplifica, se filtra, y luego se demodula hasta obtener la señal en banda base. Esto permite que la señal de banda base se vuelva a configurar según las necesidades que se requiera dentro de la red de comunicación. Una vez que la señal de banda base se ha vuelto a configurar, se modula nuevamente en FM a una portadora de IF, que se convierte en forma ascendente a una portadora de RF para luego ser retransmitida

2.2.3. Diversidad en el sistema

El enlace de microonda necesita una ruta directa entre la antena de transmisión y la antena de recepción, debe de haber línea vista entre ambos puntos. Si esta ruta se interrumpe, la señal de información puede que llegue con errores o que no llegue del todo, por lo que es necesario tener diversidad en el sistema. Con la diversidad se desea aumentar la confiabilidad del sistema añadiendo ya sea una ruta extra de transmisión o un método extra de transmisión, incrementando la disponibilidad. Los métodos más comunes para lograr diversidad son la frecuencia, el espacio y la polarización.

2.2.3.1. Diversidad de frecuencias

En este caso, una misma señal se modula a dos frecuencias portadoras diferentes, para luego transmitir ambas señales a su destino, por lo que cada señal experimentará diferentes niveles de desvanecimiento. En el equipo receptor, ambas portadoras son demoduladas, y la señal de IF que se reciba con mejor calidad es la que se selecciona.

Como se puede apreciar en el diagrama, son necesarios dos o más transmisores así como dos o más receptores. La diversidad en frecuencia se emplea usualmente en enlaces por línea de vista que usan FDM y para rutas críticas.

La diversidad de frecuencia constituye una solución fácil y practica para contrarrestar el desvanecimiento de propagación por trayectos múltiples.

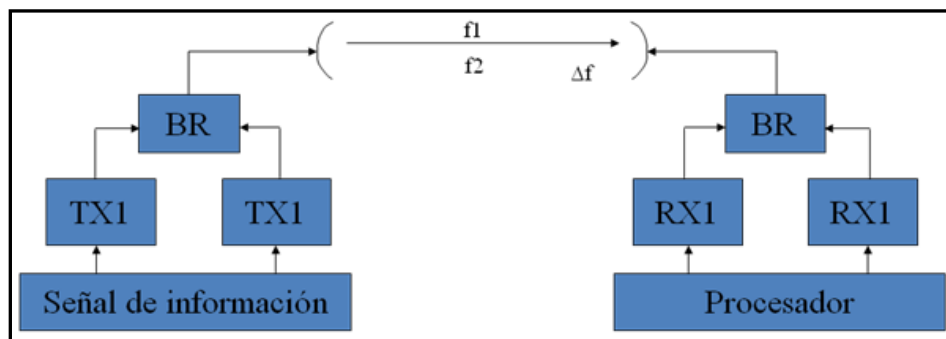


Figura 2.15 Diagrama de un sistema con diversidad de frecuencias.

2.2.3.2. Diversidad de espacio

“La diversidad de espacio consiste en alimentar con la salida del transmisor a una o más antenas que están separadas físicamente por un número apreciable de longitudes de onda” (Tomasi, 2003, pág. 696). De igual manera ocurre con el receptor, el cual debe de tener más de una antena separada por un número apreciable de longitudes de onda, con el fin de generar más de una ruta de transmisión.

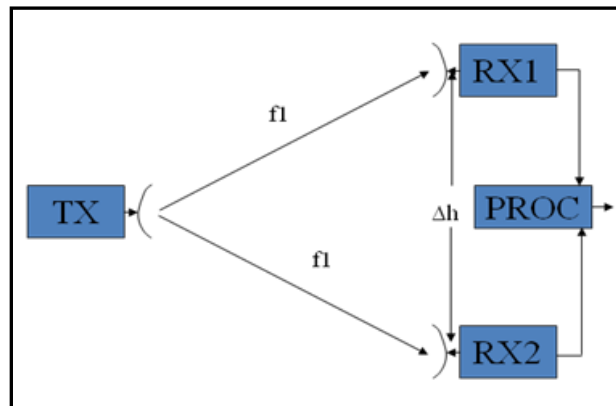


Figura 2.16 Diagrama de un sistema con diversidad de espacio.

“Cuando se utiliza la diversidad de espacio, es importante que la distancia eléctrica de un transmisor a cada una de sus antenas y de un receptor desde cada una de sus antenas sea un múltiplo igual al largo de las longitudes de onda. Esto para asegurar que cuando dos o más señales de la misma frecuencia llegan a la entrada de un receptor estén en fase. Si se reciben fuera de fase, se cancelarán y, en consecuencia, resultará con menos potencia recibida que si se utilizara un sistema de antenas” (Tomasi, 2003, pág. 696). Para este caso no es probable un desvanecimiento simultáneo y se utiliza una sola frecuencia portadora. Para obtener el máximo rendimiento se debe colocar las antenas receptoras separadas a una distancia de entre 10 a 12 veces la longitud de onda de la señal. El valor mínimo de esta separación depende del tipo de antena utilizado y la frecuencia.

Cuando es difícil obtener suficientes asignaciones de frecuencia, la diversidad de espacio es la mejor protección contra el desvanecimiento por efecto de trayectos múltiples.

2.2.3.3. Diversidad de polarización

La diversidad de polarización consiste en transmitir una sola portadora con dos diferentes polarizaciones electromagnéticas (vertical y horizontal) mediante dos antenas diferentes, ya que no se experimenta el mismo deterioro en la transmisión.

2.2.4. Conmutación de protección

La pérdida de potencia de la señal recibida se conoce como desvanecimiento de radio, producido por las condiciones atmosféricas, causando una reducción de la señal de 20,30, 40 o más dB. Cuando los circuitos de control de ganancia automática integrados en los receptores, no puede compensar tal reducción, usualmente las mayores a 40dB, causan una pérdida total de la señal recibida. Para evitar una interrupción de servicio, se cuenta con un equipo alternativo al que se le llama arreglo para la conmutación de protección. Esencialmente, hay dos tipos de arreglos para la conmutación de protección: respaldo de línea y diversidad.

2.2.4.1. Respaldo en línea

“Con la protección de respaldo en línea, cada canal de radio que está trabajando tiene un canal de respaldo dedicado o un canal extra” (Tomasi, 2003, pág. 698). En el transmisor se divide la potencia para las señales, para ser enviadas hacia los canales de microondas y los canales de respaldo. Tanto, los canales que están trabajando como los que están de espera (respaldo), llevan la misma información.

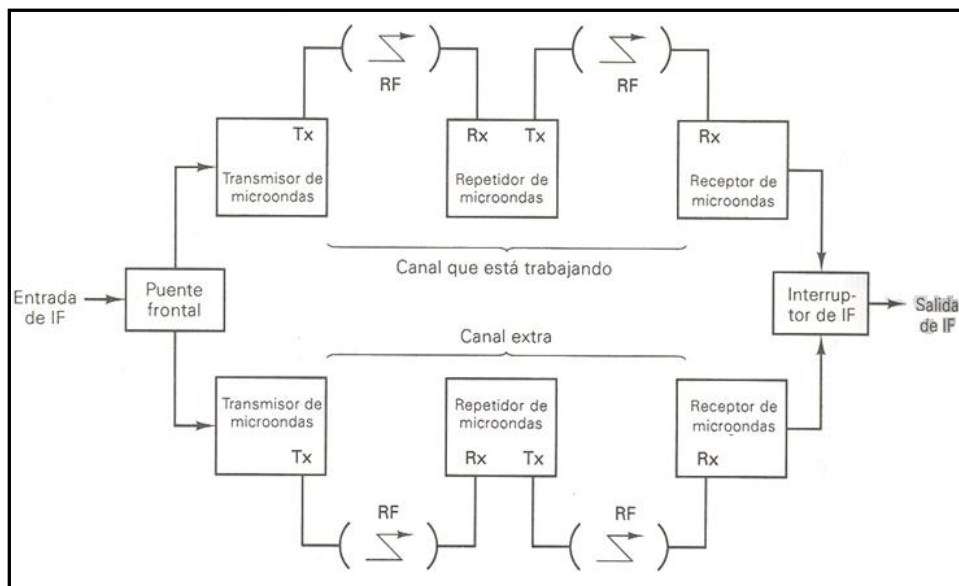


Figura 2.17 Diagrama de un sistema con respaldo de línea. (Tomasi, 2003)

En el receptor, la potencia de la señal es monitoreada continuamente para medir su intensidad. En el momento que falle el enlace, entra a trabajar el equipo de respaldo hasta en el momento que de nuevo se reintegre la señal en el sistema principal. Estos sistemas ofrecen 100% de protección para cada canal de radio que está trabajando.

2.2.4.2. Diversidad

La diversidad consiste en tener dos canales que estén trabajando, uno auxiliar y un canal extra. Igualmente, como en el caso del respaldo en línea, continuamente monitorea la intensidad de la señal receptora en ambos canales que están trabajando. “Si cualquiera de los dos fallara, el interruptor de IF detecta la pérdida de la portadora y envía, al interruptor de IF de la estación transmisora, una señal de VF de tono codificado que lo dirige para conmutar la señal de IF, del canal que tiene la falla, al canal extra de microondas” (Tomasi, 2003, pág. 699). La diversidad se utiliza solamente entre estaciones que experimentan un alto porcentaje de desvanecimiento de la señal.

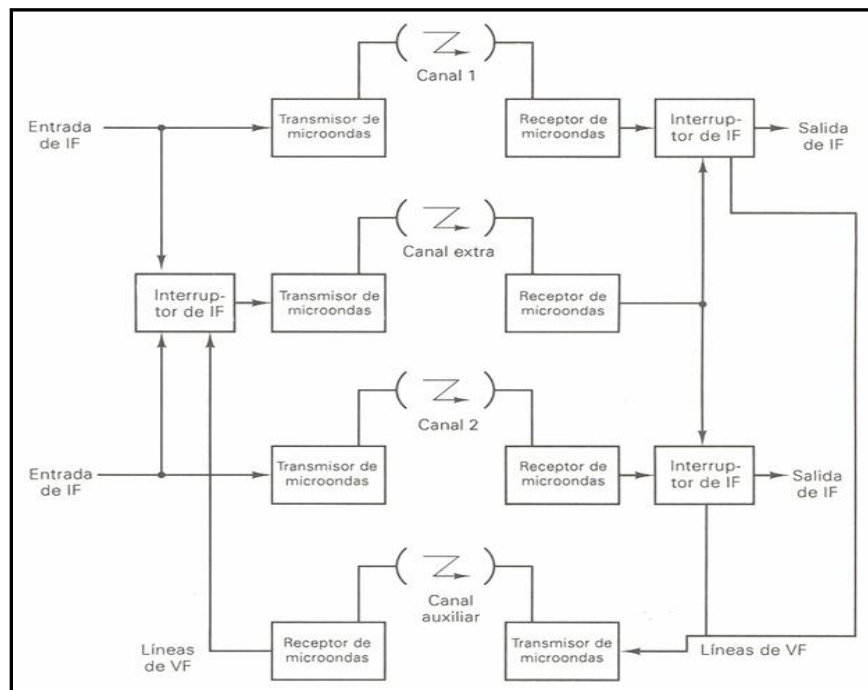


Figura 2.18 Diagrama de un sistema con diversidad. (Tomasi, 2003)

2.2.4.3. Confiabilidad

El conmutador de protección, es el encargado de proteger todas las rutas de la señal así como el equipo de radio, con el fin de evitar los desvanecimientos de radio.

Para implementar estos sistemas se necesita un estudio estadístico del tiempo fuera de servicio causado por desvanecimientos del radio, fallas en el equipo y mantenimiento, con el fin de elegir el diseño ingenieril más apto para cada situación.

2.2.5. Características de trayectoria

La trayectoria es la ruta que sigue una señal inalámbrica desde el sistema transmisor hasta el sistema receptor, durante la cual, la señal experimentará pérdidas de potencia que serán compensadas para poder lograr un enlace exitoso.

2.2.5.1. Pérdidas de trayectoria de espacio libre

La pérdida de trayectoria de espacio libre se define como la pérdida incurrida por una onda electromagnética conforme se propaga en una línea recta a través de un vacío sin ninguna absorción o reflexión de energía de los objetos cercanos” (Tomasi, 2003, pág. 710). La expresión para la pérdida de trayectoria de espacio libre se da como:

$$L_P = \left(\frac{4\pi f D}{c} \right)^2 \quad (6)$$

Donde: L_p = pérdida de trayectoria de espacio libre, D = distancia, f = frecuencia, c = velocidad de la luz en espacio libre

Convirtiendo a dB tenemos que:

$$L_p = 32.4 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log D(\text{km}) \quad (7)$$

2.2.5.2. Zonas de Fresnel

Las Zonas de Fresnel es otro aspecto importante a tomar en cuenta para los enlaces de microonda punto a punto. Las zonas de Fresnel forman una serie de círculos concéntricos imaginarios entre el transmisor y receptor, debido a que las ondas electromagnéticas se expanden al viajar en el espacio libre. Dicha expansión puede provocar reflexiones y cambios de fase al pasar sobre un obstáculo produciendo un aumento o disminución en el nivel de intensidad de la señal.

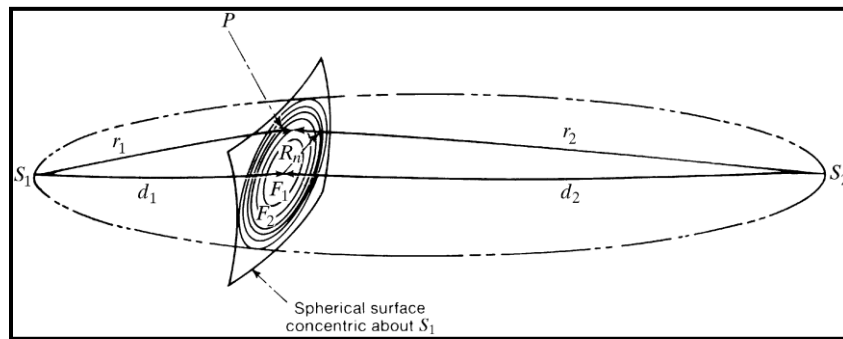


Figura 2.19 Diagrama de las zonas de Fresnel. (Tomado de Freeman, 2006)

Para lograr realizar un enlace de forma efectiva, sin que se vea afectada la recepción de señal, se requiere que la primera Zona de Fresnel debe de tener un 66% libre de obstáculos. Para el cálculo de los radios de los círculos concéntricos que forman las ondas electromagnéticas se tiene la siguiente ecuación:

$$R_n = \sqrt{n\lambda \left(\frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2} \right)} \quad (8)$$

en donde:

R_n = Es el radio de la zona “n” de Fresnel

n = zona de Fresnel donde n=1, 2, 3...

λ = longitud de onda

d_1 = distancia entre el punto S_1 y el punto P

d_2 = distancia entre el punto S_2 y el punto P

2.2.5.3. Margen de desvanecimiento

Es un factor de acolchonamiento que considera las características no ideales y menos predecibles de la propagación de ondas de radio que son perjudiciales para el funcionamiento general del sistema. Por lo tanto el margen de desvanecimiento se incluye como pérdida a la hora de calcular la factibilidad del enlace.

La siguiente ecuación es para un sistema con una disponibilidad anual, sin diversidad y sin protección.

$$Fm = 30 \log D + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70 \quad (9)$$

En donde:

$30 \log D$ = efecto múltiples de trayectorias.

$10 \log (6ABf)$ = sensibilidad a superficie rocosa.

$10 \log (1-R)$ = objetivos de confiabilidad.

70 = constante

Fm = margen de desvanecimiento (dB)

D = distancia (km)

f = frecuencia en (GHz)

R = confiabilidad expresada en decimal (99.99% = 0.9999)

$1 - R$ = objetivo de confiabilidad para una trayectoria de 400km en un solo sentido.

A = factor de rugosidad.

= 4 sobre agua o en un terreno llano.

= 1 sobre terreno normal.

= 0.25 sobre un terreno montañoso muy disperejo.

B = factor para convertir una probabilidad del peor mes a un probabilidad anual.

= 1 para convertir una disponibilidad anal a una base para el peor mes.

= 0.5 para áreas calientes y húmedas.

= 0.25 para áreas normales tierra adentro.

= 0.125 para áreas montañosas o muy secas.

2.2.5.4. Umbral de receptor

También llamado sensibilidad del receptor, el cual depende de la potencia de ruido de banda ancha que está presente en la entrada. Por lo que la potencia de ruido de entrada se expresa matemáticamente como:

$$N = KTB \quad (10)$$

Donde:

N = potencia de ruido (watts)

K = constate de Boltzmann (1.38×10^{-23})

T = temperatura de ruido equivalente del receptor

B = ancho de banda

En dBm, para un ancho de banda de 1Hz y a temperatura ambiente

$$N(dB) = -174 \text{ dBm} + 10\log(B) \quad (11)$$

2.2.6. Antenas para enlaces de microondas

Las condiciones típicas de funcionamiento de una antena son: Temperatura entre -40 y +60 °C; Humedad entre 0 a 100%; Flexión con viento: de < 0,1° a 110 Km/h (EIARS195B/222D); Supervivencia: 200 Km/h.

2.2.6.1. Ganancia de una antena

Para una antena la relación entre la ganancia (respecto de la antena isotrópica en la dirección de máxima directividad) y el área eficaz es una constante igual a $\lambda^2/4\pi$. La ganancia de una antena puede obtenerse en forma matemática mediante la expresión:

$$G = 10 * \log(4\pi A_0 / \lambda^2) \quad (12)$$

$$\text{Con } A_0 = \eta\pi(d/2)^2$$

Donde A_0 es la superficie efectiva proyectada de la abertura del reflector, λ es la longitud de onda en el espacio libre, d el diámetro de la antena y η es eficiencia de la apertura expresada en %. Por lo tanto, se observa que la ganancia de una antena es proporcional a la frecuencia, la eficacia de la apertura y el diámetro del reflector.

2.2.6.2. Tipos de Antena

A continuación se explican los tipos principales de antenas que se utilizan para los enlaces de microondas, las cuales se caracterizan por poseer un reflector parabólico y ser utilizadas a frecuencias altas, tener una ganancia elevada y una directividad tan grande como sea requerido.

2.2.6.2.1. Parábola frontal

Es el tipo más común de antena. Posee el soporte de la alimentación situado al frente de plato, lo cual limita la eficiencia de apertura a sólo 55 - 60%. La Parábola tiene la ventaja de que el bloqueo por parte del iluminador de la abertura de la antena es reducido y la bocina alimentadora es reducida y pequeña. Sin embargo, requiere de tramos de cable coaxial o guía de onda largos. Es la antena típica usada para radioenlaces terrestres.

2.2.6.2.2. Cassegrain

La Cassegrain se basa en un doble reflector diseñado por Cassegrain en el siglo XVII para telescopios ópticos. Está formada por un reflector principal y otro auxiliar que corresponde a una porción de paraboloides. Esta antena se le usa para producir elevadas atenuaciones en el lóbulo secundario y obtener pequeños ángulos de irradiación. El sistema Cassegrain permite ubicar la bocina con un tramo de guía menor pero el subreflector bloquea gran parte de la apertura y el desbordamiento aumenta los lóbulos laterales. Esta antena es la usada en la mayoría de los enlaces satelitales. Una de las ventajas es que el alimentador de la antena no requiere de una línea de transmisión larga y se conecta casi directamente a la salida del transmisor o a la entrada del receptor reduciendo considerablemente las pérdidas. Eficiencia de apertura es del orden de 65 a 70%.

2.2.6.2.3. Reflector Off-set

El reflector Off-set la estructura de soporte del alimentador no presenta obstrucción significativa al haz reflejado por el paraboloides (enfoque descentrado del reflector). De tal tipo de antenas surge el reflector horn ampliamente utilizado en enlaces para obtener una elevada ganancia, buena discriminación a la polarización cruzada y gran ancho de banda. El costo es bastante superior a las antenas parabólicas normales.

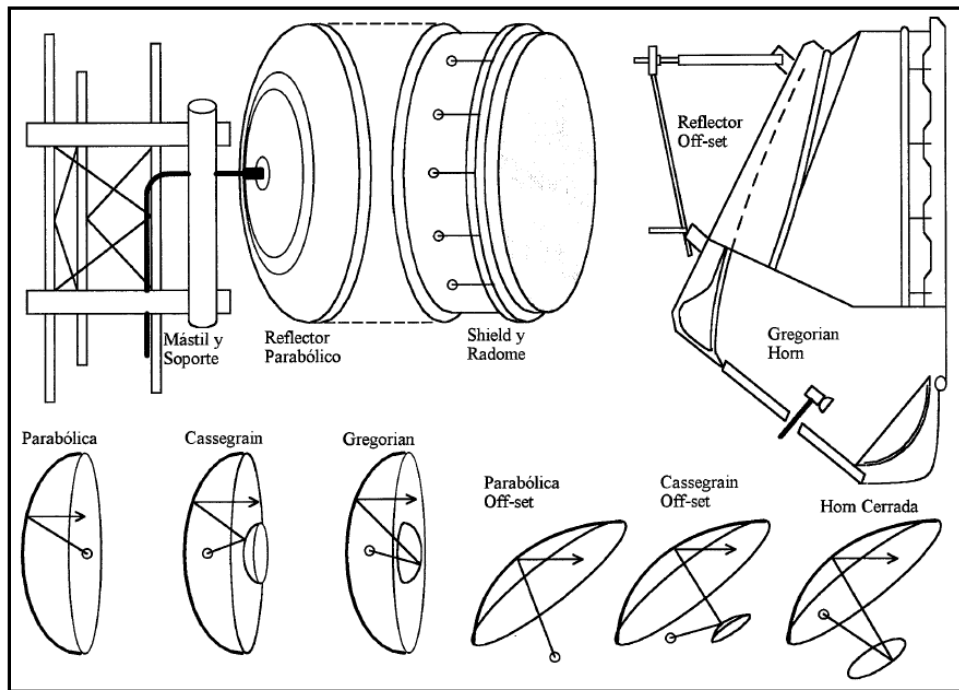


Figura 2.20 Tipos de antenas según su tipo de alimentación para enlaces microonda. (Tomado de gemini.udistrital.edu.co/comunidad/)

2.2.7. Torres para instalación de antenas

En esta sección se muestran los distintos tipos de torres que son instalados para la implementación de enlaces por medio de microonda o enlaces inalámbricos en general. Ya que será necesario instalar una torre en cada punto del enlace, y habrá casos donde será necesario la instalación de una repetidora. En muchos de los enlaces se podría utilizar la misma infraestructura del ICE, como por ejemplo, la instalación de torres sobre los edificios de las Agencias o utilizar las torres pertenecientes al sector de telecomunicaciones, esto sería una posibilidad que ayudaría a abaratar costos del proyecto.

- **Torres Arriostradas**

Este tipo de torres usualmente se colocan sobre los edificios para poder aprovechar la altura de estos. Cuentan con arriostres que se tensan hacia el suelo para sostener y darle equilibrio a la estructura. El peso que genera la torre no es muy grande, pero si es necesario la instalación del apoyo de la torre y sus arriostres. Los cables o arriostres generalmente se tensan al 10% de su resistencia, la cual es proporcionada por el fabricante. La capacidad de carga dependerá si la instalación se realiza en terreno o sobre un edificio, así como las dimensiones de la torre.

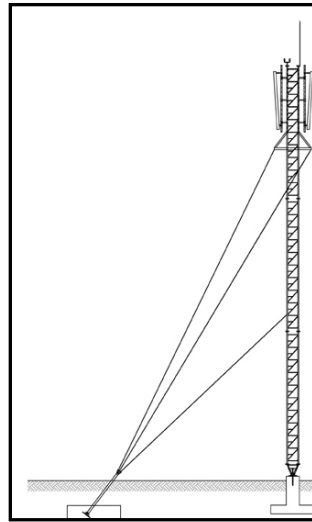


Figura 2.21 Torre Arriostrada. (Tomado de <http://www.mer-group.com>)

- **Torres Auto-soportadas**

Las torres auto-soportadas se instalan fundamentalmente cuando las limitaciones de terreno son importantes y/o cuando la cantidad y dimensiones de las antenas así lo requieran. La geometría de la torre depende de la altura y la ubicación, por que se cuenta con torres de base triangular o base cuadrada. Este tipo de torre usualmente tiene una capacidad de carga entre unos 600 a 1600kg.

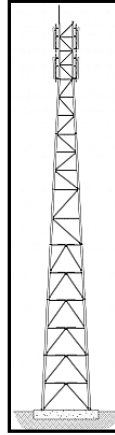


Figura 2.22 Torre Auto Soportada. (Tomado de <http://www.mer-group.com>)

- **Torres Monopolo**

Este tipo de antena ocupa menos espacio y tiene un peso ligero comparado a las torres auto-soportadas. Son de forma cilíndrica. Como estas estructuras están sobre terrenos, se deberá de construir una cimentación adecuada para resistir los efectos de la misma. La capacidad de carga depende de la altura y las dimensiones de la torre, aunque puede rondar entre unos 800kg.

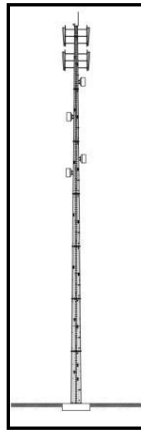


Figura 2.23 Torre Monopolo. (Tomado de <http://www.mer-group.com>)

3 DESARROLLO

En este capítulo se desarrollará cada uno de los objetivos específicos que se plantearon al inicio del proyecto, y se especificará el procedimiento que se siguió para la generación de los resultados que se muestran en cada sección. Al final de este capítulo se podrá realizar un análisis de los resultados obtenidos con el fin de generar una serie de puntos esenciales para valorar cada una de las tecnologías (fibra óptica y microonda), para posteriormente determinar las conclusiones con respecto a la implementación de los enlaces.

3.1. Datos para enlace en fibra óptica.

3.1.1. Atenuación en fibras ópticas de plástico y fibras ópticas de vidrio.

El objetivo de esta sección es comparar los valores de atenuación que genera las fibras de plásticos y con los valores de atenuación que genera las fibras de vidrio, utilizando enlaces de muy corta distancia.

Para obtener los dichos valores, las pruebas se basaron en el laboratorio de fibra óptica que se asigna para el curso de Laboratorio de Comunicaciones Eléctricas con el profesor Julio Stradi. Para estas mediciones se utilizó el equipo disponible en el laboratorio de comunicaciones eléctricas de la Escuela de Ingeniería en Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

En las siguientes tablas se muestran los equipos y los materiales que se utilizaron para la obtención de las mediciones de atenuación. Como se puede observar se utilizó fibras ópticas con diferentes longitudes, fibras de plástico y de vidrio, y módulos emisores y receptores con diferentes longitudes de onda.

Tabla 3.1 Módulos Emisores

Dispositivo	Código de Modulo de Emisor	Característica Longitud de Onda(nm)
LED 012 GaAlAs	4180.5	660
LED GaAlAs HFE 4000-013	4180.6	850
DIODO GaAsAI FH 1011	4180.12	660
LED FH 1011 HFG 4001-H03	4180.13	850

Tabla 3.2 Módulos Receptores

Dispositivo	Código de Modulo de Receptor	Característica Longitud de Onda(nm)
Diodo PIN SFH 202	4181.5	850
Diodo PIN SFH 202	4181.7	850

Tabla 3.3 Tipos de fibra de óptica.

Tipo de Fibra	Longitud (m)
Plástica	0.50
	5.00
	10.0
	20.0
	50.0
Vidrio	1.00
	20.0

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Para esta sección de medición se utilizó el siguiente equipo e instrumentos:

Equipo:

- Emisor - código 4180
- Transmisor - código 4181
- Banco óptico - código 4185
- Fuente variable de CD - GP-303

Instrumentos:

- Multímetro Digital - código DM-6804B

3.1.1.1. Atenuación de diodos emisores, fibra de plástico.

Para dimensionar adecuadamente una vía de transmisión óptica, se debe tener conocimiento sobre la atenuación de la fibra de plástico, por lo tanto, para esta sección, se armó el circuito de la figura 3.1 para obtener dichos valores de atenuación para este tipo de fibras.

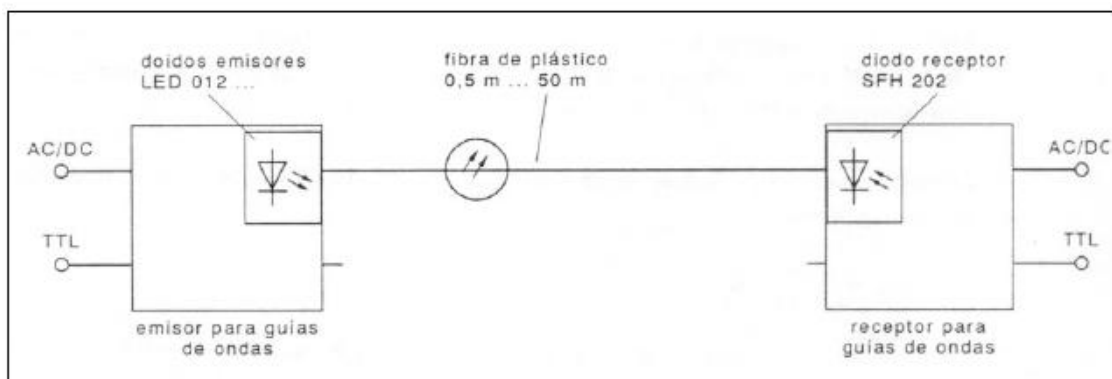


Figura 3.1 Circuito de medición para la atenuación de diodos emisores. (Tomada Laboratorio de Comunicaciones Eléctricas)

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

En las tablas 3.4 y 3.5 se muestran los resultados de atenuación obtenidos a distintas longitudes y con emisores distintos. En las figuras 3.2 y 3.3 se observa el comportamiento de la atenuación versus la longitud de la fibra.

Los diodos emisores utilizados para dicha medición son los módulos: 4180.5 y el 4180. A continuación los valores experimentales obtenidos:

Tabla 3.4 Resultados obtenidos utilizando el emisor 4180.5.

L (m)	U_s (V)	α (dB)
0.5	2.917	0
5	1.650	2.474
10	0.996	4.667
20	0.800	5.618
50	0.248	10.704

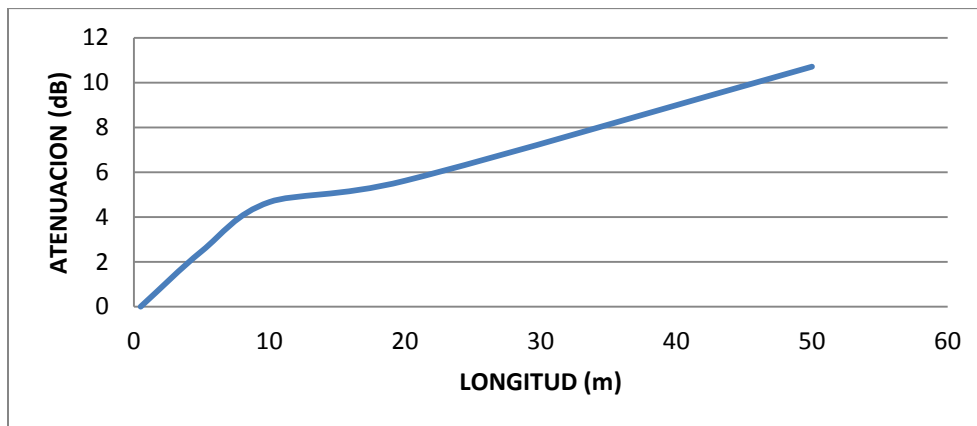


Figura 3.2 Gráfica de atenuación en función de la longitud de las fibras para el diodo emisor 4180.5

Tabla 3.5 Resultados obtenidos utilizando el emisor 4180.6.

L (m)	U_s (V)	α (dB)
0.5	6.080	0
5	0.517	10.704
10	0.190	15.054
20	0.115	17.232

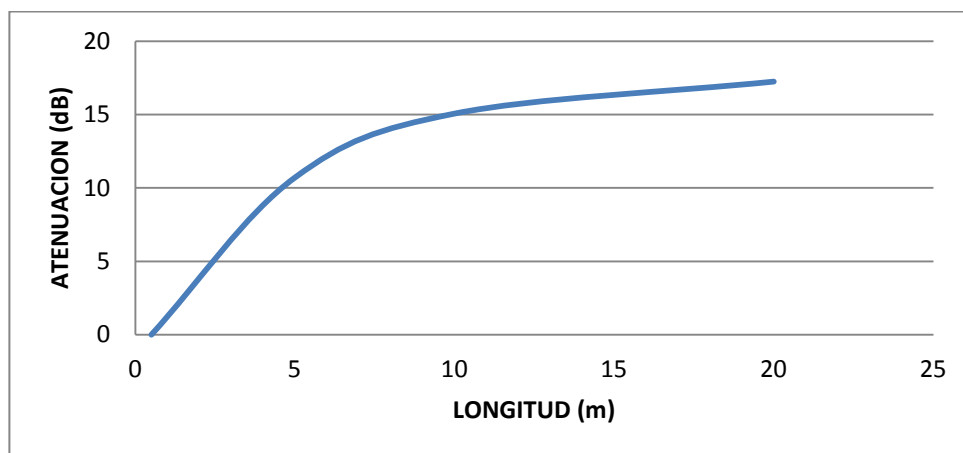


Figura 3.3 Gráfica de atenuación en función de la longitud de las fibras para el diodo emisor 4180.6

3.1.1.2. Atenuación de diodos emisores, fibras de vidrio.

Para esta sección se montó el circuito de la figura 3.4 con el fin de medir la tensión correspondiente a la salida del circuito, con el fin de poder obtener el valor de la atenuación en las fibras de vidrio a distintas longitudes. Se trabajó con los módulos emisores 4180.12 y el 4180.13, y con el módulo receptor 4181.7, así como con dos fibras de vidrio: una con una longitud de 1 metro y otra de 20 metros. Para esta sección se debe tener en cuenta que la unión entre la fibra de 1 metro y la de 20 metros se realizó por medio de un acople mecánico, lo cual produjo un aumento en la atenuación de señal de manera considerable, si la se compara con las mediciones realizadas.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

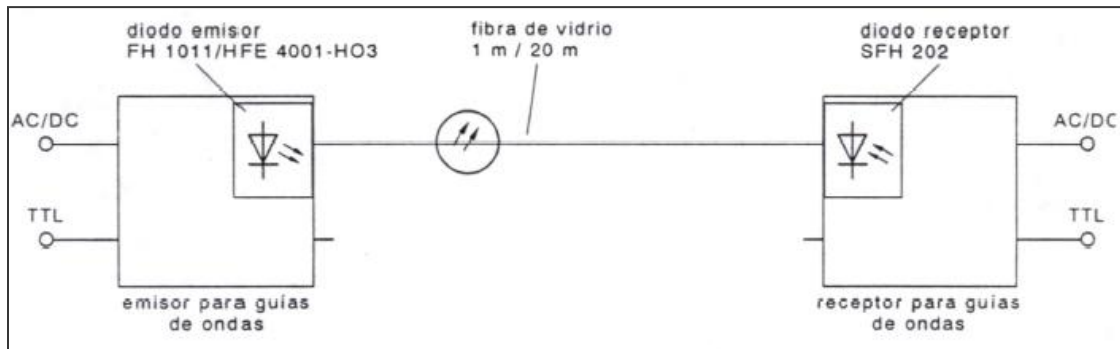


Figura 3.4 Circuito de medición de la atenuación en diodos emisores con fibra de vidrio.

En la tabla 3.6 y en la tabla 3.7 se muestran los valores correspondientes a la tensión y la atenuación con respecto a la longitud de la fibra de vidrio utilizada.

Tabla 3.6 Tensión y valores de atenuación para el diodo emisor 4180.12 para diferentes longitudes con fibra de vidrio.

L (m)	U_s (V)	α (dB)
1	0.324	0
20	0.292	0.452
1+20	0.259	0.972

Tabla 3.7 Tensión y valores de atenuación para el diodo emisor 4180.13 para diferentes longitudes con fibra de vidrio.

L (m)	U_s (V)	α (dB)
1	0.0595	0
20	0.0445	1.262
1+20	0.0318	2.721

3.1.2. Presupuesto óptico de los enlaces

Para el diseño y la implementación de un enlace de fibra óptica es esencial calcular las pérdidas que se generan en el medio de transmisión. Este es un cálculo teórico que se realiza con base en la distancia que existe entre los puntos que se desea enlazar, con el objetivo de tener un valor aproximado de las pérdidas que se generan en el diseño del enlace. Estos resultados dan la posibilidad de tener un punto inicial para la escogencia de equipo y materiales para el cálculo del costo económico e implementación del enlace.

Como se mencionó, la variable determinante para el cálculo de estas pérdidas es la distancia entre los puntos de conexión. Los datos correspondientes a las distancias entre subestaciones y agencias, fueron facilitados por el Área de Sistemas de Comunicación de la UENTE del ICE. Los encargados de esta área, realizaron dichas mediciones tomando la ruta por donde posiblemente se instalaría el cable óptico, siguiendo los postes eléctricos instalados en las aceras de las carreteras.

A continuación se muestran las distancias medidas por el Área de Sistemas de Comunicación, las cuales se separan por región y los posibles enlaces a implementar. Cada enlace se escogió con relación a su cercanía con la subestación y la posibilidad de conectar ambos puntos por medio de la red de distribución eléctrica.

En la tabla 3.8 se cuenta con 18 posibles enlaces de fibra óptica, que dan como resultado un total de 291.51km de tendido de fibra. El enlace “Subestación de Río Claro – Agencia de Paso Canoas”, es el de mayor extensión de la región, con 34.44km de distancia.

En la tabla 3.9 se cuenta con 14 posibles enlaces de fibra óptica que dan como resultado un total de 163.53km de tendido de fibra. Como se puede observar en dicha tabla, habrá enlaces donde exista una subestación en común para varias agencias.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Tabla 3.8 Distancias entre subestaciones eléctricas y Agencias ICE en la Región Huertar-Brunca.

REGIÓN HUETAR-BRUNCA		
Subestaciones	Agencias ICE	Distancia entre puntos (km)
Cahuita	Bribri	26
	El Valle	23
San Isidro	San Isidro	3,6
	San Pedro	17,4
Palmar Norte	Palmar	12,6
	Ciudad Cortes	25
Moín	Limón	10,7
Siquirres	Batán	21
Turrialba	Turrialba	2,1
Cóncavas	Cartago	5
Leesville	Guápiles	9,35
	Guácimo	26,8
	Cariari	15
	Ticabán	14,1
Rio Claro	Paso Canoas	36,44
	Neily	17,12
	Rio Claro	2
	Golfito	24,3
Total		291,51

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Tabla 3.9 Distancias entre subestaciones eléctricas y Agencias ICE en la Región Chorotega.

REGIÓN CHOROTEGA		
Subestaciones	Agencias ICE	Distancia entre puntos (km)
Barranca	Roble	5,5
	Puntarenas	14,2
Garabito	Miramar	10,5
	Chomes	19
Parrita	Quepos	18,53
	Parrita	13,9
Juanilama	Esparza	3,1
	Orotina	26,9
Liberia	Liberia	3,8
	Bagaces	25
Arenal	Tilarán	6,4
Miravalles	Guayabo	7,2
Cañas	Cañas	4,5
Santa Rita	Santa Rita	5
Total		163,53

Como se puede observar en la tabla 3.8, la región Huetar-Brunca es la región que posee un mayor número de enlaces, por lo que el tiraje de fibra en esta región es el de mayor extensión. También se observa que existen subestaciones como la de Leesville y Río Claro que serían un núcleo de recepción y transmisión de información para varias agencias, en estos casos serían 4 agencias conectadas a una misma subestación.

Finalmente la tabla 3.10 corresponde a los enlaces de la Región Central. Para esta región se realizaron mediciones para 9 agencias, en donde destaca el enlace “Subestación de Poás – Agencia de Atenas”, que costa de una distancia de 33km.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Tabla 3.10 Distancias entre subestaciones eléctricas y Agencias ICE en la Región Central.

REGIÓN CENTRAL		
Subestaciones	Agencias ICE	Distancia entre puntos (km)
Naranjo	Naranjo	1,5
	Grecia	9,5
	Sarchí	4,5
Coco	Alajuela	4
	San Antonio de Tejar	2
	Turrúcares	15
	Barrio San José de Alajuela	11
Poás	San Pedro de Poás	9
	Atenas	33
Total		89,5

Tabla 3.11 Total de tendido de fibra óptica para las 41 Agencias ICE.

Número de Agencias	Distancia total (km)
41	544,54

Como se muestra en la tabla 3.11, las medidas de distancias se realizaron para un total de 41 Agencias ICE, donde se obtuvo como resultado un tendido total de 544.54km aproximadamente de fibra óptica.

Con base a las tablas 3.8, 3.9 y 3.10, se procede a realizar el cálculo de pérdidas para los 41 enlaces antes mostrados. Para realizar este cálculo, se necesita tomar en cuenta las pérdidas que generan los empalmes y los conectores, así como la longitud de fibra óptica disponible en las carruchas que se adquieren en el mercado.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Para iniciar el cálculo del presupuesto del enlace, se supone la instalación de un empalme cada 3km, ya que las carruchas de fibra óptica usualmente son de 5km, pero no siempre los 5km de fibra estarán en buen estado. Por lo tanto, para enlaces mayores de 3km se supone el uso de un empalme, mínimo, para finalizar el tendido del enlace.

Otra variable a considerar, como se mencionó en el marco teórico, es que los sistemas de fibra óptica pueden transmitir en tres ventanas: en 850nm, 1300nm y 1550nm. Para el caso de este cálculo se utilizará la segunda ventana (1310nm) y tercera ventana (1550nm), ya que la fibra óptica que se utilizará será la fibra monomodo, por ser la fibra óptica ideal para enlaces de largas distancias.

Para determinar el presupuesto óptico de cada enlace se tomarán los siguientes valores de elementos atenuadores, además de un margen de seguridad del 10%. Estos valores son estándares mínimos que deben cumplir los equipos de instalación, por lo se utilizará estos requerimientos mínimos para calcular el peor de los escenarios.

- Atenuación de la fibra (0.35 dB/km o 0.25 dB/km)
- Perdida por empalmes (0.15 dB)
- Perdida por conectores terminales o pigtailes (0.75 dB por extremo)
- Margen de seguridad (10%)

Con base al folleto “Normas para cables de fibra óptica” utilizado por el área de Telecomunicaciones del Instituto Costarricense de Electricidad, las pérdidas en forma teórica se calculan con la siguiente fórmula:

$$P(dB) = \beta (dB/km) * d(km) + 2 * P_c + n * P_e \quad (13)$$

Donde:

P: presupuesto óptico del enlace.

B: Atenuación de la fibra óptica.

d: Distancia del enlace.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

P_c : Perdida en conectores (2 conectores)

P_e : Perdida por empalmes (n cantidad de empalmes)

A continuación en las tablas 3.12, 3.13 y 3.14 se muestran el cálculo de las pérdidas de los enlaces entre subestación y agencia por medio de fibra óptica.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Tabla 3.12 Pérdidas para 1310nm y 1550nm correspondiente a los enlaces de la Región Chorotega.

Enlaces Ópticos Chorotega				Segunda Ventana (1310nm)			Tercera Ventana (1550nm)		
Subestaciones	Agencias ICE	Distancia (km)	Nº de empalmes	Atenuación (dB/km)	Perdidas		Atenuación (dB/km)	Perdidas	
					Teórica(dB)	10% (dB)		Teórica(dB)	10% (dB)
Barranca	Roble	5,5	3	0,35	3,850	4,235	0,25	3,300	3,630
	Puntarenas	14,2	6	0,35	7,330	8,063	0,25	5,910	6,501
Garabito	Miramar	10,5	5	0,35	5,850	6,435	0,25	4,800	5,280
	Chomes	19	7	0,35	9,250	10,175	0,25	7,350	8,085
Parrita	Quepos	18,53	7	0,35	9,062	9,968	0,25	7,209	7,930
	Parrita	13,9	6	0,35	7,210	7,931	0,25	5,820	6,402
Juanilama	Esparza	3,1	2	0,35	2,890	3,179	0,25	2,580	2,838
	Orotina	26,9	10	0,35	12,410	13,651	0,25	9,720	10,692
Liberia	Liberia	3,8	2	0,35	3,170	3,487	0,25	2,790	3,069
	Bagaces	25	9	0,35	11,650	12,815	0,25	9,150	10,065
Arenal	Tilarán	6,4	3	0,35	4,210	4,631	0,25	3,570	3,927
Miravalles	Guayabo	7,2	3	0,35	4,530	4,983	0,25	3,810	4,191
Cañas	Cañas	4,5	3	0,35	3,450	3,795	0,25	3,000	3,300
Santa Rita	Santa Rita	5	3	0,35	3,650	4,015	0,25	3,150	3,465

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Tabla 3.13 Pérdidas para 1310nm y 1550nm correspondiente a los enlaces de la Región Huetar-Brunca.

Enlaces Ópticos Huetar - Brunca				Segunda Ventana (1310nm)			Tercera Ventana (1550nm)		
Subestaciones	Agencias ICE	Distancia (km)	N° de empalmes	Atenuación (dB/km)	Perdidas		Atenuación (dB/km)	Perdidas	
					Teórica(dB)	10% (dB)		Teórica(dB)	10% (dB)
Cahuita	Bribri	26	10	0,35	12,050	13,255	0,25	9,450	10,395
	El Valle	23	9	0,35	10,850	11,935	0,25	8,550	9,405
San Isidro	San Isidro	3,6	2	0,35	3,090	3,399	0,25	2,730	3,003
	San Pedro	17,4	7	0,35	8,610	9,471	0,25	6,870	7,557
Palmar Norte	Palmar	12,6	5	0,35	6,690	7,359	0,25	5,430	5,973
	Ciudad Cortes	25	9	0,35	11,650	12,815	0,25	9,150	10,065
Moín	Limón	10,7	5	0,35	5,930	6,523	0,25	4,860	5,346
Siquirres	Batán	21	8	0,35	10,050	11,055	0,25	7,950	8,745
Turrialba	Turrialba	2,1	2	0,35	2,490	2,739	0,25	2,280	2,508
Cóncevas	Cartago	5	3	0,35	3,650	4,015	0,25	3,150	3,465
Leesville	Guápiles	9,35	4	0,35	5,390	5,929	0,25	4,455	4,901
	Guácimo	26,8	10	0,35	12,370	13,607	0,25	9,690	10,659
	Cariari	15	6	0,35	7,650	8,415	0,25	6,150	6,765
	Tibacán	14,1	6	0,35	7,290	8,019	0,25	5,880	6,468
Rio Claro	Paso Canoas	36,44	13	0,35	16,226	17,849	0,25	12,582	13,840
	Neily	17,12	7	0,35	8,498	9,348	0,25	6,786	7,465
	Rio Claro	2	2	0,35	2,450	2,695	0,25	2,250	2,475
	Golfito	24,3	9	0,35	11,370	12,507	0,25	8,940	9,834

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Tabla 3.14 Pérdidas para 1310nm y 1550nm correspondiente a los enlaces de la Región Central.

Enlaces Ópticos Central				Segunda Ventana (1310nm)			Tercera Ventana (1550nm)		
Subestaciones	Agencias ICE	Distancia (km)	Nº de empalmes	Atenuación (dB/km)	Perdidas		Atenuación (dB/km)	Perdidas	
					Teórica(dB)	10% (dB)		Teórica(dB)	10% (dB)
Naranjo	Naranjo	1,5	2	0,35	2,250	2,475	0,25	2,100	2,310
	Grecia	9,5	4	0,35	5,450	5,995	0,25	4,500	4,950
	Sarchí	4,5	3	0,35	3,450	3,795	0,25	3,000	3,300
Coco	Alajuela	4	2	0,35	3,250	3,575	0,25	2,850	3,135
	San Antonio de Tejar	2	2	0,35	2,450	2,695	0,25	2,250	2,475
	Turrúcares	15	6	0,35	7,650	8,415	0,25	6,150	6,765
	B. San José de Alajuela	11	5	0,35	6,050	6,655	0,25	4,950	5,445
Poás	San Pedro de Poás	9	4	0,35	5,250	5,775	0,25	4,350	4,785
	Antenas	33	12	0,35	14,850	16,335	0,25	11,550	12,705

3.2. Datos para enlace microonda

3.2.1. Ubicación de subestaciones eléctricas y agencias ICE

Inicialmente para poder diseñar un enlace por medio de microonda, se necesita conocer la posición geográfica de las subestaciones eléctricas y las agencias ICE. Características como la distancia, el lugar donde están ubicados los puntos, y la existencia de línea vista entre las antenas, serán esenciales para poder escoger el equipo adecuado que cumpla dichas características y requerimientos, con el fin de lograr obtener un diseño de un enlace de microonda confiable y exitoso.

El primer paso que se realizó fue ubicar la posición geográfica de cada una de las subestaciones eléctricas del ICE. Para lograr conocer cada posición, se utilizó las herramientas de Google Earth y Google Maps. Se localizaron un total de 50 Subestaciones, pero en la tabla 3.15, como modo ilustrativo, se muestra la ubicación geográfica de 25 subestaciones, con su posición en latitud y longitud. En el apéndice, se muestran las tablas con la ubicación de las restantes subestaciones eléctricas.

De igual manera como en el caso de las subestaciones eléctricas, se procedió a ubicar geográficamente las Agencias ICE en el territorio nacional. Dicha información fue suministrada por el Ingeniero Carlos Sojo, que forma parte del Área de Diseño en el sector de Telecomunicaciones del ICE. La información suministrada, contó con la ubicación de 68 agencias. En la tabla 3.16, se muestra la localización de 19 agencias, ubicadas en la Región Pacífico Central y Región Central. En el apéndice se muestran las tablas de todas 68 Agencias con su respectiva posición geográfica.

Estos datos correspondientes a la ubicación de las Agencias ICE, fueron confirmados con la ayuda de Google Earth, y tomando como base la información que se encuentra en la página web www.grupoice.com, donde cada agencia aparece separada por provincia, cantón, distrito y con su respectiva dirección.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Tabla 3.15 Ubicación de las subestaciones eléctricas en coordenadas geográficas.

Subestaciones	Ubicación - NORTE	Ubicación - OESTE
Alajuelita	9°54'45,79	84°6'37,66
Angostura	9°55'0,69	83°38'25,43
Anónos	9°55'55,28	84°7'6,81
Arenal	10°28'21,94	85°0'1,14
Barranca	9°59'29,85	84°42'49,58
Belén	9°59'48,24	84°10'21,98
Cachi	9°52'12,82	83°45'13,76
Cañas	10°25'24	85°07'28,6
Cariblanco	10°17'15,6	10°17'15,6
Ciudad Quesada	10°21'13,9	84°25'54,0
Colima	9°57'7,87	84°5'25,44
Colorado	10°13'32,99	85°10'20,26
Cóncevas	9°50'18,65	83°58'15,39
Corobicí	10°28'15,77	85°4'39,57
Desamparados	9°53'20,67	84°3'17,52
El Coco	9°59'53,47	84°13'32,32
El Este	9°54'36,77	83°59'47,95
Escazú	9°54'12,8	84°09'48,5
Filadelfia	10°25'10,2	85°28'28,6
Garabito	10° 3'2.02	84°45'21.16
Garita	9°55'48,4	84°21'38,4
General	10°12'51,3	83°54'55,6
Guayabal	10°15'58,87	85°34'10,09
Heredia	9°58'58,55	84°7'11,87
Juanilama	9°58'11,4	84°39'52,8

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Tabla 3.16 Ubicación de las agencias correspondientes a la región Pacífico Central y Central en coordenadas geográficas

Regiones	Agencias Eléctricas	Provincia	Cantón	Distrito	Latitud	Longitud
Región Pacífico Central	Judas de Chomes	Puntarenas	Puntarenas	Chomes	10°06'47.36"N	84°53'33.07"O
Región Pacífico Central	Miramar	Puntarenas	Montes de Oro	Miramar	10°05'34.42"N	84°43'50.82"O
Región Pacífico Central	Parrita	Puntarenas	Parrita	Parrita	9°31'13.97"N	84°19'46.54"O
Región Pacífico Central	Quepos	Puntarenas	Aguirre	Quepos	9°25'50.94"N	84°09'46.52"O
Región Pacífico Central	Jacó	Puntarenas	Garabito	Jacó	9°36'43.29"N	84°37'39.81"O
Región Pacífico Central	Esparza	Puntarenas	Esparza	Espíritu Santo	9°59'28.68"N	84°39'59.71"O
Región Pacífico Central	Puntarenas	Puntarenas	Puntarenas	Puntarenas	9°58'39.92"N	84°49'48.63"O
Región Pacífico Central	El Roble	Puntarenas	Puntarenas	El Roble	9°58'34.80"N	84°44'07.50"O
Región Pacífico Central	Orotina	Alajuela	Orotina	Orotina	9°54'38.18"N	84°31'26.53"O
Región Central	Turrúcares	Alajuela	Alajuela	Turrúcares	9°57'42.03"N	84°19'10.16"O
Región Central	Sarchí	Alajuela	Valverde Vega	Sarchí Norte	10°05'21.46"N	84°20'41.05"O
Región Central	Atenas	Alajuela	Atenas	Atenas	9°58'55.00"N	84°22'52.50"O
Región Central	San Pedro de Poás	Alajuela	Poás	San Pedro	10°04'29.35"N	84°14'42.62"O
Región Central	Palmares	Alajuela	Palmares	Palmares	10°03'24.38"N	84°26'05.03"O
Región Central	Naranjo	Alajuela	Naranjo	Naranjo	10°05'50.92"N	84°22'50.12"O
Región Central	San Antonio del Tejar	Alajuela	Alajuela	San Antonio	9°59'45.65"N	84°13'26.85"O
Región Central	San Ramón	Alajuela	San Ramón	San Ramón	10°05'15.02"N	84°28'20.08"O
Región Central	Grecia	Alajuela	Grecia	Grecia	10°04'24.36"N	84°18'40.58"O
Región Central	Alajuela Centro	Alajuela	Alajuela	Alajuela	10°01'07.76"N	84°12'49.44"O

3.2.2. Ubicación de puntos de enlace en el simulador Radio Mobile

Con la información sobre la posición geográfica de las 50 subestaciones eléctricas y las 68 Agencias ICE, se utilizó el software Radio Mobile para simular los enlaces inalámbricos. Dicho software ayudará a conocer las condiciones geográficas en que se encuentra cada uno de los sitios, su relieve, altitud con respecto al nivel del mar, etc.

El Radio Mobile es un software gratuito desarrollado por Roger Coudé para analizar y planificar el funcionamiento de un sistema de radiocomunicaciones fijo o móvil. Sirve para predecir el comportamiento de sistemas de radio, simular radioenlaces, representar el área de cobertura de una red de radiocomunicaciones, entre otras funciones. El software trabaja en el rango de frecuencias entre 20 MHz y 20 GHz, y está basado en el modelo de propagación ITM (Irregular Terrain Model) o modelo Longley-Rice, lo cual lo hacen totalmente funcional y adecuado para efectos de este proyecto.

En la figura 3.5, se muestra una imagen tomada del software Radio Mobile, en la cual se identifica un segmento del territorio de nuestro país, con la ubicación de las Agencias ICE (figuras amarillas) y las subestaciones eléctricas (figuras blancas).

Para el análisis y predicción del comportamiento del enlace, el software trabaja con distintas variables, como lo son: la distancia entre los puntos, relieve del lugar, frecuencias de transmisión, potencia del transmisor, sensibilidad del receptor, ganancia y tipo de antena, altura de la antena, pérdidas en el cable y pérdidas en la línea, entre otras. Estas variables son esenciales para el cálculo de las zonas de fresnel, línea vista entre los puntos que se desea enlazar, pérdidas en el espacio libre, etc.

Durante este documento, se trató de obtener el máximo provecho a esta herramienta para poder realizar un diseño adecuado de un enlace de comunicación por medio de microonda.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

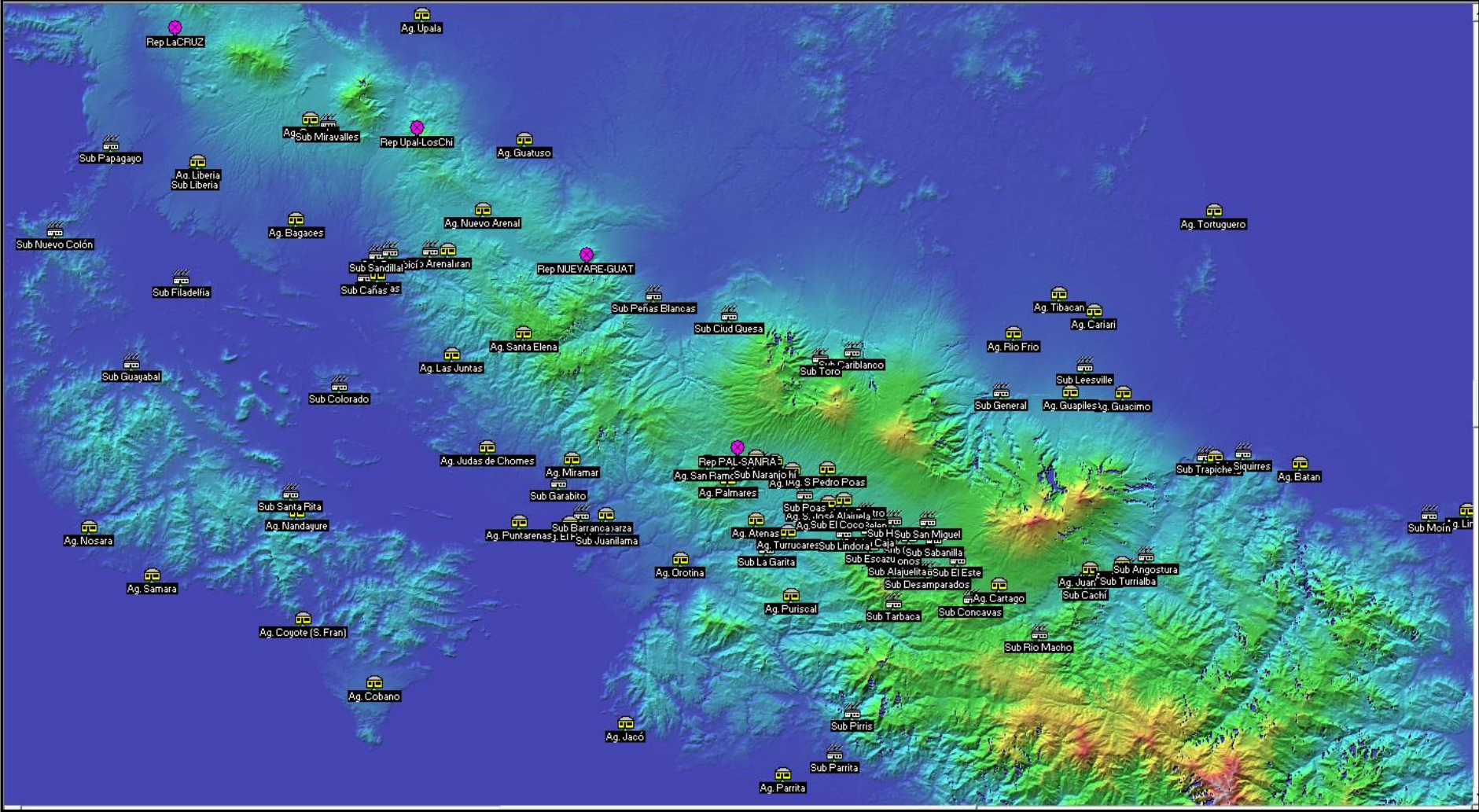


Figura 3.5 Ubicación de las Subestaciones Eléctricas y Agencias del ICE en el territorio nacional.

3.2.3. Distancia y línea vista entre Subestaciones Eléctricas y Agencias ICE

Esta sección tiene como objetivo poder comparar directamente la factibilidad y la viabilidad de un enlace de fibra óptica con un enlace de microonda, tomando como referencia los mismos enlaces en fibra óptica expuestos en la sección 3.1. Con la información con respecto a la ubicación de las agencias y las subestaciones eléctricas en el software Radio Mobile, se obtuvo la distancia en línea recta entre los puntos del enlace, y se verificó la existencia de línea vista entre los sitios.

En las tablas 3.17, 3.18 y 3.19, se muestran los enlaces entre subestaciones eléctricas y agencias, sus distancias, y si existe línea vista entre los puntos. Cada tabla está dividida por región, y nos da el total de distancia que se obtendría si los enlaces serían por medio de microonda. Cabe recalcar que para esta sección el total de Agencias es de 36, ya que 5 de las agencias expuestas en la sección de fibra óptica, no fueron posible ubicarlas geográficamente.

Tabla 3.17 Distancias entre subestaciones eléctricas y Agencias ICE en la Región Central.

REGIÓN CENTRAL			
Subestaciones	Agencias ICE	Distancia entre puntos (km)	Línea vista
Naranjo	Naranjo	1,26	Si
	Grecia	6,99	Si
	Sarchí	3,12	Si
Coco	Alajuela	2,64	Si
	San Antonio de Tejar	0,29	Si
	Turrúcares	11	No
	Barrio San José de Alajuela	2,48	Si
Poás	San Pedro de Poás	6,97	No
	Antenas	11,4	Si
Total		46,19	

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Tabla 3.18 Distancias entre subestaciones eléctricas y Agencias ICE en la Región Huetar-Brunca.

REGIÓN HUETAR-BRUNCA			
Subestaciones	Agencias ICE	Distancia entre puntos (km)	Línea vista
San Isidro	San Isidro	2,86	Si
	San Pedro	16,95	No
Moín	Limón	7,97	No
Siquirres	Batán	12,01	No
Turrialba	Turrialba	1,45	Si
Cóncavas	Cartago	4,37	Si
Leesville	Guápiles	6	Si
	Guácimo	9,62	No
	Cariari	11,36	Si
	Ticabán	15,49	Si
Rio Claro	Paso Canoas	30,54	Si
	Neily	14,73	No
	Rio Claro	1,17	Si
	Golfito	12,02	No
Total		148,6	

Ya que la línea vista depende de los obstáculos que se encuentren entre los puntos a enlazar, así como de la altura que se encuentra la antena receptora y la antena transmisora, para los resultados en las tablas 3.17, 3.18 y 3.19, se consideró para todos los puntos, que tanto la antena transmisora como la antena receptora estuvieran a 15 metros de altura con respecto al suelo.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Tabla 3.19 Distancias entre subestaciones eléctricas y Agencias ICE en la Chorotega.

REGIÓN CHOROTEGA			
Subestaciones	Agencias ICE	Distancia entre puntos (km)	Línea vista
Barranca	Roble	2,92	Si
	Puntarenas	12,82	Si
Garabito	Miramar	5,45	No
	Chomes	16,46	No
Parrita	Quepos	15,75	Si
	Parrita	11,54	Si
Juanilama	Esparza	2,4	Si
	Orotina	16,73	No
Liberia	Liberia	2,01	Si
	Bagaces	22,78	No
Arenal	Tilarán	3,71	No
Miravalles	Guayabo	3,59	Si
Cañas	Cañas	2,66	Si
Total		118,82	

A modo de ejemplo, se toma el enlace “Subestación Liberia – Agencia de Bagaces”, que tiene una distancia de 25km, el cual, por medio de fibra óptica es posible su implementación. Pero por otro lado, como se muestra en la figura 3.6, el mismo enlace no es posible inalámbricamente, debido al relieve que existe entre ambos puntos. Este obstáculo hace imposible que exista línea vista entre cada sitio.

Por otra parte, se simula el enlace inalámbrico “Subestación Barranca – Agencia de Puntarenas”, el cual si es posible la implementación de manera teórica mediante un enlace por medio de microonda, debido a que no existen obstáculos en el trayecto del enlace. Ver Figura 3.7. Este enlace también es posible por medio de fibra óptica como se indica en la Tabla 3.8.

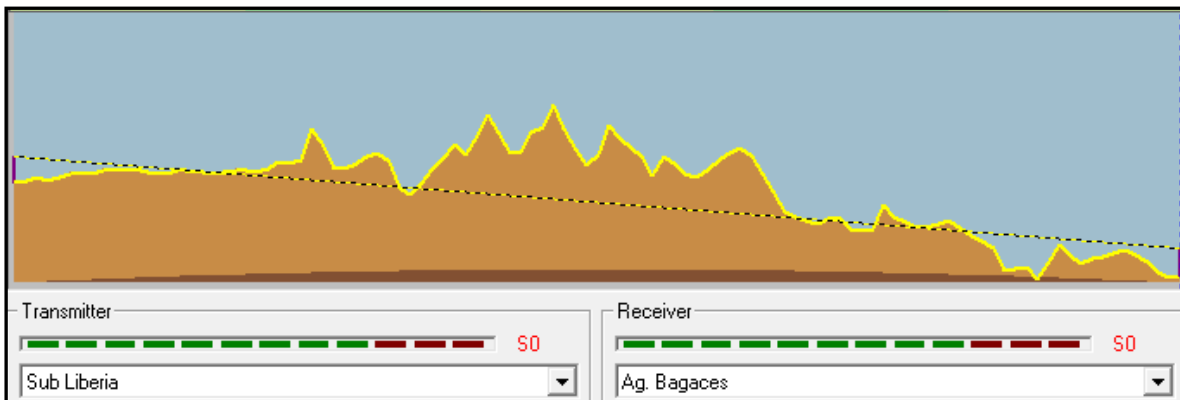


Figura 3.6 Línea vista en RadioMobile entre la Subestación de Liberia con la Agencia ICE de Bagaces.

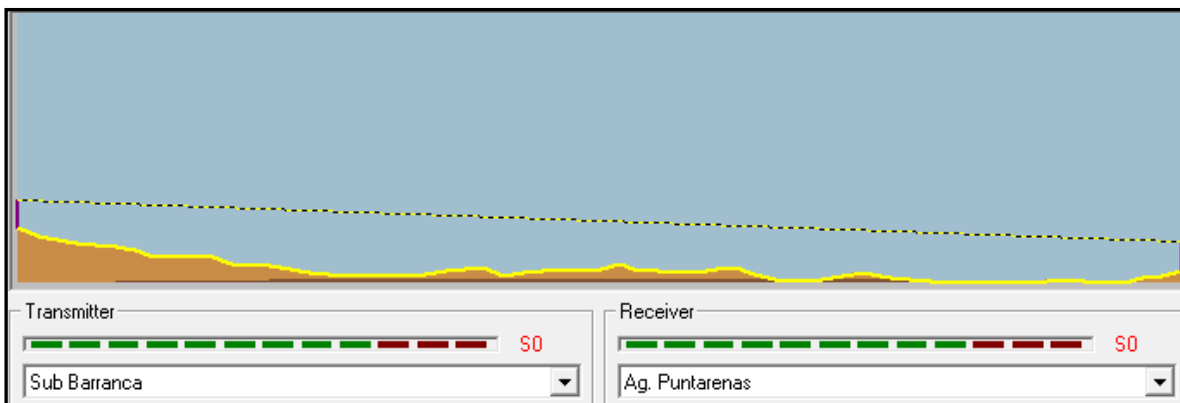


Figura 3.7 Línea vista en RadioMobile entre la Subestación de Barranca con la Agencia ICE de Puntarenas.

Para conocer un poco más a fondo los posibles escenarios que se puedan generar en los enlaces de microondas, con respecto a la posición geográfica de los puntos, la distancia entre los puntos y el relieve que se forma entre ellos, se procedió a conectar más sitios “subestación-agencias”. Esto ayudará a tener un panorama más amplio de la situación de cada agencia y cada subestación, y no solo únicamente enfocarse en los enlaces predeterminados por fibra óptica de la sección 3.1.1.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el caso particular de 4 agencias (Bagaces, Batán, San Pedro y San Pedro de Poás) que no existía línea vista como se muestra en la tablas 3.17, 3.18 y 3.19, en la tabla 3.20 se realiza un enlace a otra subestación cercana al sitio, el cual genera un enlace inalámbrico posiblemente exitoso.

Tabla 3.20 Distancia total en línea vista para 19 Agencias ICE.

Agencia ICE	Subestación	Distancia (km)	Repetidora		Distancia ANG-REP (km)	Distancia REP-SUB (km)
<i>Bagaces</i>	Cañas	18,61	-	-	-	-
<i>Batán</i>	Moín	24,74	-	-	-	-
Buenos Aires	San Isidro	-	09°08'04.2"N	83°28'17.2"O	16,6	34,39
Guatuso	Peñas Blancas	-	10°27'43.6"N	84°42'10.8"O	26,82	16,01
La Cruz	Papagayo	-	10°52'28.5"N	85°29'09.8"O	27,13	27
Laurel	Río Claro	32,49	-	-	-	-
Los Chiles	Cañas	-	10°41'36.8"N	85°01'33.9"O	50	31,9
Nuevo Arenal	Peñas Blancas	-	10°27'43.6"N	84°42'10.8"O	23,49	16,01
Palmares	Naranjo	-	10°06'42.7"N	84°24'58.4"O	6,45	5,36
Pejibaye	San Isidro	-	09°08'04.2"N	83°28'17.2"O	11,92	34,39
Puriscal	La Garita	10,7	-	-	-	-
Río Frío	General	12,14	-	-	-	-
<i>San Pedro</i>	San Isidro	-	09°08'04.2"N	83°28'17.2"O	18,55	34,39
<i>San Pedro de Poás</i>	Naranjo	14,1	-	-	-	-
San Ramón	Naranjo	-	10°06'42.7"N	84°24'58.4"O	6,7	5,36
San Vito	San Isidro	-	09°08'04.2"N	83°28'17.2"O	64,95	34,39
Siquirres	Trapiche	2,17	-	-	-	-
Tortuguero	Leesville	41,26	-	-	-	-
Upala	Cañas	-	10°41'36.8"N	85°01'33.9"O	23,06	31,9

3.2.4. Presupuesto inalámbrico del enlace

Como se calculó en la sección del presupuesto óptico del enlace, en microondas también es necesario calcular teóricamente las pérdidas que se generan en la implementación del enlace. En esta sección es importante conocer las posibles frecuencias que se podrían utilizar en los enlaces, y la distancia entre los puntos a enlazar. Estas dos variables son esenciales para el cálculo de las pérdidas en el espacio libre. Ver ecuación (7).

En la tabla 3.21 se muestran los parámetros que se utilizaron para el cálculo del presupuesto inalámbrico del enlace para esta sección, los cuales son valores considerados como mínimos que deben de poseer los equipos para este tipo de enlace.

Tabla 3.21 Parámetros para el cálculo teórico del presupuesto inalámbrico del enlace.

Potencia de Transmisión		Sensitividad de Recepción		Ganancia Antena	Pérdidas en línea
Watt	dBm	μ W	dBm	dB	dB
1	30	1	-107	20	0,5

Para asignar las frecuencias a los enlaces, se basó en las recomendaciones que da ITU. Por lo tanto, para distancias menores a 11km, se utilizará una frecuencia de portadora de 18GHz, y para mayores a 11km, se asignó una frecuencia de 11GHz. Ver la tabla 3.22.

Tabla 3.22 Recomendaciones según ITU para asignación de frecuencias según la distancia.

Frecuencia (GHz)	Distancia (Km)
2 a 6	32 a 48
10 a 12	16 a 24
18 a 23	8 a 11
28 a 30	0,2 a 1,2

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Ya con los parámetros generales y las distancias entre los puntos de enlace, se procede a realizar en cálculo de las pérdidas en el espacio libre. Con ayuda del software Radio Mobile, se pueden obtener más resultados que ayudarán a establecer las características de cada uno de los enlaces de microonda, como lo son: las pérdidas de propagación, el valor en decibeles de la potencia de recepción con relación a la mínima requerida y el porcentaje libre de la primera zona de Fresnel. En las tablas 3.23, 3.24 y 3.24 se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los enlaces. En este caso también se utilizó los mismos enlaces que se obtuvieron en fibra óptica en la sección anterior, pero se excluyeron los enlaces donde no existía línea vista, los cuales se indicaron en las tablas 3.17, 3.18 y 3.19.

Cabe recalcar que para estos cálculos no se tomó en cuenta pérdidas en conectores o en el cable, ya que muchos de los equipos actuales de microonda, el transmisor y/o receptor están colocados inmediatamente después de la antena, por lo que las pérdidas del cable no son significativas para estos casos.

Tabla 3.23 Distancias entre subestaciones eléctricas y Agencias ICE en la Chorotega.

REGIÓN CHOROTEGA							
Subestaciones	Agencias ICE	Distancia (km)	Frecuencia (GHz)	Espacio libre (dB)	Propagación (dB)	Rx por encima de la requerida (dB)	Zona 1 de Fresnel
Barranca	Roble	2,92	18	126,8	131,0	45	3,9
	Puntarenas	12,82	11	135,4	150,3	25,7	2,4
Parrita	Quepos	15,75	11	137,2	144,8	25,6	0,6
	Parrita	11,54	11	134,5	160,3	15,7	0,2
Juanilama	Esparza	2,4	18	125,1	132,8	43,2	6,5
Liberia	Liberia	2,01	18	123,6	127,7	48,3	4,6
Miravalles	Guayabo	3,59	18	118,7	123,2	52,8	4,1
Cañas	Cañas	2,66	18	126,0	130,2	45,8	3,9

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Tabla 3.24 Distancias entre subestaciones eléctricas y Agencias ICE en la Región Huetar-Brunca.

REGIÓN HUETAR-BRUNCA							
Subestaciones	Agencias ICE	Distancia (km)	Frecuencia (GHz)	Espacio libre (dB)	Propagación (dB)	Rx por encima de la requerida (dB)	Zona 1 de Fresnel
San Isidro	San Isidro	2,86	18	126,6	134,1	41,9	2,9
Turrialba	Turrialba	1,45	18	120,8	125,8	50,2	8,5
Cóncevas	Cartago	4,37	18	130,3	138,6	37,4	6,4
Leesville	Guápiles	6	18	133,1	142,4	33,6	3,2
	Cariari	11,36	11	134,4	143,4	32,6	2,8
	Ticabán	15,49	11	137,1	140,4	35,6	0,8
Río Claro	Paso Canoas	30,54	11	143,0	169,0	7,0	0,2
	Río Claro	1,17	18	118,9	123,0	53,0	6,8

Tabla 3.25 Distancias entre subestaciones eléctricas y Agencias ICE en la Región Central.

REGIÓN CENTRAL							
Subestaciones	Agencias ICE	Distancia (km)	Frecuencia (GHz)	Espacio libre (dB)	Propagación (dB)	Rx por encima de la requerida (dB)	Zona 1 de Fresnel
Naranjo	Naranjo	1,26	18	119,6	125,4	50,6	8,8
	Grecia	6,99	18	134,4	140,3	35,7	10,8
	Sarchí	3,12	18	127,4	135,0	41,0	8,0
Poás	Antenas	11,4	11	134,4	143,1	32,9	1,9
Coco	Alajuela	2,64	18	126,0	132,6	43,4	5,4
	S. Ant de Tejar	0,29	18	106,8	118,1	57,9	11,5
	S. José de Alaj.	2,48	18	125,4	128,4	47,6	3,9

3.3. Tipo de servicio y ancho de banda

Para determinar el medio que se requiere implementar para el enlace de comunicación, es importante conocer el posible tráfico que circulará en dicho enlace, así como tener una aproximación de la velocidad que tendrían los datos. Dichas aproximaciones se harán tomando en cuenta los posibles servicios que se brinden a las Agencias ICE, tomando como base los servicios que se ofrecen actualmente a las subestaciones eléctricas.

En este caso tomaremos en cuenta la posibilidad de ofrecer servicios de: Voz IP, video conferencia vía IP, acceso a servidores internos y externos del ICE e Internet. La selección de estos servicios se debe a que estos consumen un ancho de banda considerable, en comparación a otros servicios que se ofrecen.

3.3.1. Servicio de VOZ IP

El ancho de banda para una transmisión de Voz IP depende del codificador que se desea utilizar, en este caso, se realizará el cálculo con un codificador G.711 de 64kbps. Utilizando codificadores como el G.729, G.723 y iLBC, se obtiene un ancho de banda mucho más pequeño que el anterior, pero para motivos del proyecto, es preferible tomar el codificador que requiera más ancho de banda.

En VOZ IP también existe la posibilidad de incluir QoS mediante protocolos como RTP/RTCP, que se encargan de proporcionar confidencialidad, autenticación de mensajes e informar de la calidad de servicio que se está entregando. Con estos protocolos el ancho de banda aumentaría aproximadamente a 84Kbps, o sea un 5% más del ancho de banda actual. También existe la posibilidad de utilizar Supresores de Silencios y compresores de información que ayudarían a disminuir la demanda de ancho de banda que requiere el servicio.

Si suponemos la instalación de un promedio de 10 teléfonos por Agencia ICE, y que el caso más crítico sería que se lleguen a utilizar los 10 al mismo tiempo, el ancho de banda necesario para tal situación sería de:

$$B.W. = 10 * 84kbps = 840 kbps$$

3.3.2. Servicio de Videoconferencia IP

La Videoconferencia es una comunicación simultánea bidireccional de audio y vídeo en tiempo real, en donde la capacidad del canal y el ancho de banda disponible son variables esenciales para obtener una comunicación segura, confiable y de buena calidad.

El rango total de retraso (delay) para una comunicación de video en un sentido es aproximadamente de 125-150 milisegundos. Si el 1% de los paquetes se pierde, se puede producir congelamiento en el video y/o pérdida de audio. Con un 2% de paquetes perdidos, el video es de baja calidad, lo cual no es aceptable para una videoconferencia. La pérdida por arriba del 2% es inaceptable en una videoconferencia de calidad empresarial.

En la tabla 3.26 se muestra el ancho de banda requerido para ofrecer un servicio de videoconferencia, según la cantidad de cuadros por segundo de un equipo promedio. El dato de “Consumo Real de Ancho de Banda” se obtiene sumando un 25% al ancho de banda requerido teóricamente. Dicho 25% es la información adicional que se incorpora en los paquetes de datos para el envío, recepción y manipulación de estos en el sistema.

Tabla 3.26 Anchos de banda para servicios de videoconferencia.

Calidad	Ancho de Banda (Kbps)	Consumo Real de Ancho de Banda (Kbps)
15 cuadros por segundo	128	160
30 cuadros por segundo	192	240

En la figura 3.20 se presenta un gráfico que muestra los rangos de anchos de banda para ofrecer un servicio de videoconferencia utilizando equipos de marca Cisco en una red de computadoras.

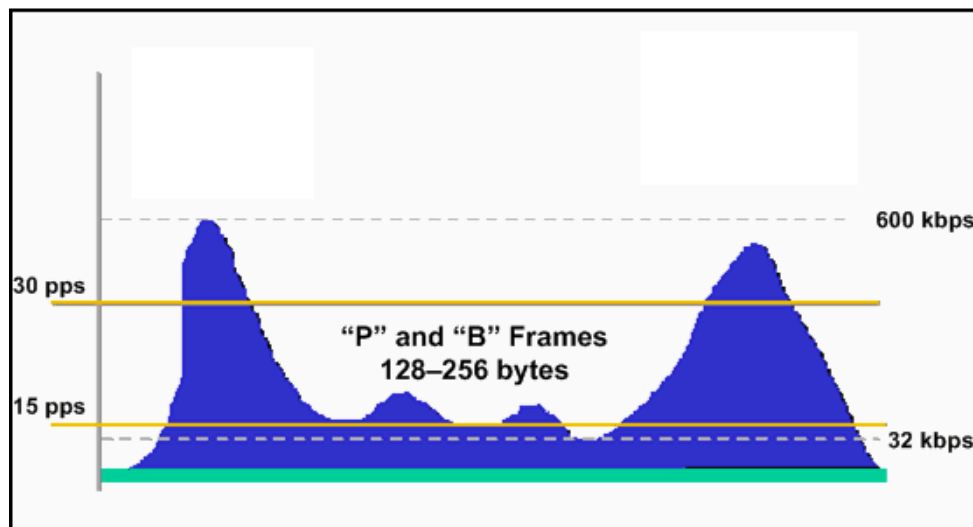


Figura 3.8 Gráfico del tráfico de bits para una videoconferencia. (Tomado de <http://www.cisco.com/en/US/tec>)

3.3.3. Acceso a servidores y aplicaciones remotas

Las Agencias ICE requieren acceder a servidores para obtener aplicaciones y servicios como: red institucional, Internet, servidores de correo electrónico, servidores FTP, entre otros. Cuantificar este tipo de servicios es complicado, ya que es necesario el uso de programas que midan la densidad del tráfico de datos y los clasifique según su tipo.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Para obtener una muestra del ancho de banda necesario para estos servicios, se utilizó el Gestor SolarWinds Orion, el cual se encarga de medir el tráfico que se genera en la red de comunicación TCP/IP que actualmente enlaza las subestaciones eléctricas. Dicha muestra consistió en seleccionar los puertos de los “switches³” donde el tráfico de datos fuera más denso.

Al acceder al Gestor, los puertos con mayor tráfico de datos resultaron ser los puertos de acceso de los “Routers⁴” asignados para la UENPE⁵ y UENTE⁶.

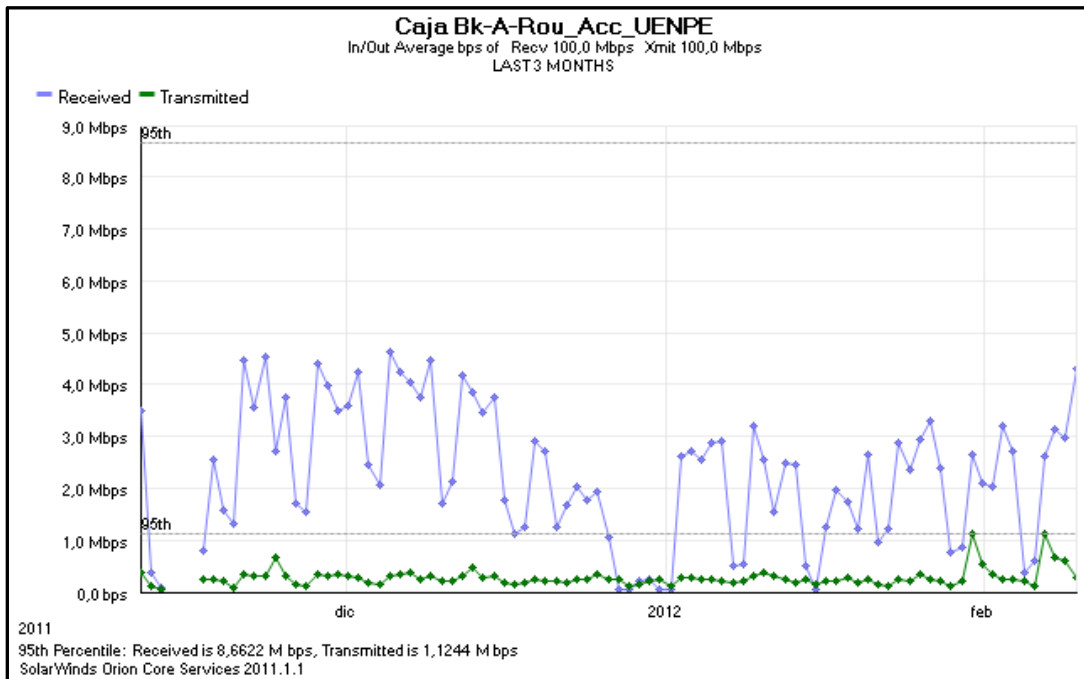


Figura 3.9 Tráfico de bits en el puerto que enlaza el bunker de la Subestación La Caja con el Router de Acceso a la UENPE.

³Un conmutador o switch es un dispositivo digital de lógica de interconexión de redes de computadores que opera en la capa 2.

⁴Un enrutador o router es un dispositivo de hardware usado para la interconexión de redes informáticas es un dispositivo digital de lógica de interconexión de redes de computadores que opera en la capa 3.

⁵UENPE Unidad Estratégica de Negocios de Producción de Energía.

⁶UENTE Unidad Estratégica de Negocios de Transporte de Energía.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

La figura 3.9 es un gráfico que muestra el tráfico de datos que se generó durante 3 meses (entre la segunda semana de noviembre a la segunda semana de febrero). Como se observa en el gráfico, este comportamiento corresponde al puerto que enlaza el bunker o sala de control de la subestación eléctrica La Caja, con un router de acceso hacia el área de la UENPE. El gráfico muestra los datos transmitidos y recibidos en el transcurso de 3 meses, así como también se indica el percentil 95 de estos datos. A continuación se muestra en la tabla 3.27, el percentil 95 de los datos transmitidos y recibidos en los puertos de acceso hacia el área de la UENTE y la UENPE, también se indica el valor mínimo y máximo, transmitido y recibido durante este período.

Tabla 3.27 Bits recibidos y transmitidos durante el periodo de 3 meses.

Ubicación Router	95% por 3 Meses	95% por 3 Meses
	Recibido (Mbps)	Transmitido (Mbps)
Arenal UENTE	0,2707	1,3983
Belén UENTE	0,0195	0,1268
Caja UENPE	8,6622	1,1244
Cañas UENTE	1,5551	0,3596
Cariblanco UENPE	1,1241	3,4206
Garita UENPE	0,5485	2,8714
Leesville UENPE	0,0063	0,0148
Moín UENPE	0,5349	3,9438
Rio Macho UENPE	2,5696	4,2924
San Isidro UENTE	1,7735	4,0713
Sandillas UENPE	0,2014	1,8511
Siquirres UENTE	0,1066	0,4876
Tanque UENPE	2,8792	3,1762
Toro UENPE	4,5376	1,5351
Turrialba UENTE	0,3743	1,7634
Mínimo	0,0063	0,0138
Máximo	8,6622	4,2924

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Para conocer un poco más sobre las características y el comportamiento del tráfico de datos en estos puertos de acceso, se realizó una medición diaria en los 5 puertos con más densidad de datos. El muestreo de los puertos de acceso se realizó durante 6 días, entre el 9 al 20 de febrero, sin tomar en cuenta los fines de semana ni los viernes.

En la tabla 3.28 se muestra el percentil 95 de los puertos con más densidad de tráfico durante los primeros 3 días, donde se observa que los percentiles máximos rondan los 10Mbps en datos recibidos y transmitidos. Para efectos del informe, únicamente se muestra esta tabla, en los anexos se encuentra los datos restantes.

Tabla 3.28 Bits recibidos y transmitidos durante el periodo de muestreo de 3 días.

Ubicación Router	95% día 1		95% día 2		95% día 3	
	Recibido (Mbps)	Transmitido (Mbps)	Recibido (Mbps)	Transmitido (Mbps)	Recibido (Mbps)	Transmitido (Mbps)
Caja UENPE	11,9865	0,7471	11,4009	1,219	10,5551	1,1728
Cariblanco UENPE	0,4658	8,1754	0,5239	5,7134	2,1724	11,2426
Rio Macho UENPE	3,1822	7,2329	1,9042	4,2754	2,2195	5,2051
Tanque UENPE	5,0802	3,6411	4,2386	4,4476	7,0527	4,3551
Toro UENPE	6,6026	1,7629	5,2174	1,5641	10,6135	2,9453
Mínimo	0,4658	0,7471	0,5239	1,219	2,1724	1,1728
Máximo	11,9865	8,1754	11,4009	5,7134	10,6135	11,2426

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Finalmente, para efectos ilustrativos en la figura 3.11 se muestra el comportamiento de datos recibidos y transmitidos por medio del puerto que enlaza el Bunker de la subestación La Caja con el router de acceso a UENPE. De igual manera indica los percentil 95, y la curva del comportamiento del tráfico de datos durante un día. Estos puertos correspondientes al área de la UENPE, consumen grandes anchos de banda debido a la necesidad de utilizar programas y simuladores de manera remota, así como tienen la posibilidad de ingresar a servidores de correo electrónico y tener acceso a internet. Por esta razón, el monitoreo de estos puertos son una excelente muestra para conocer la densidad de tráfico de información que generan este tipo de servicios.

De igual forma, se obtuvieron los picos máximos que se generaron durante esos mismos 3 días de muestreo, dichos datos se muestran en la tabla 3.29. La figura 3.12 muestra el tráfico de información que se dio en el enlace que une la subestación de Cariblanco con el router de acceso a la UENPE, dicho enlace generó el pico más alto correspondiente a la recepción de datos.

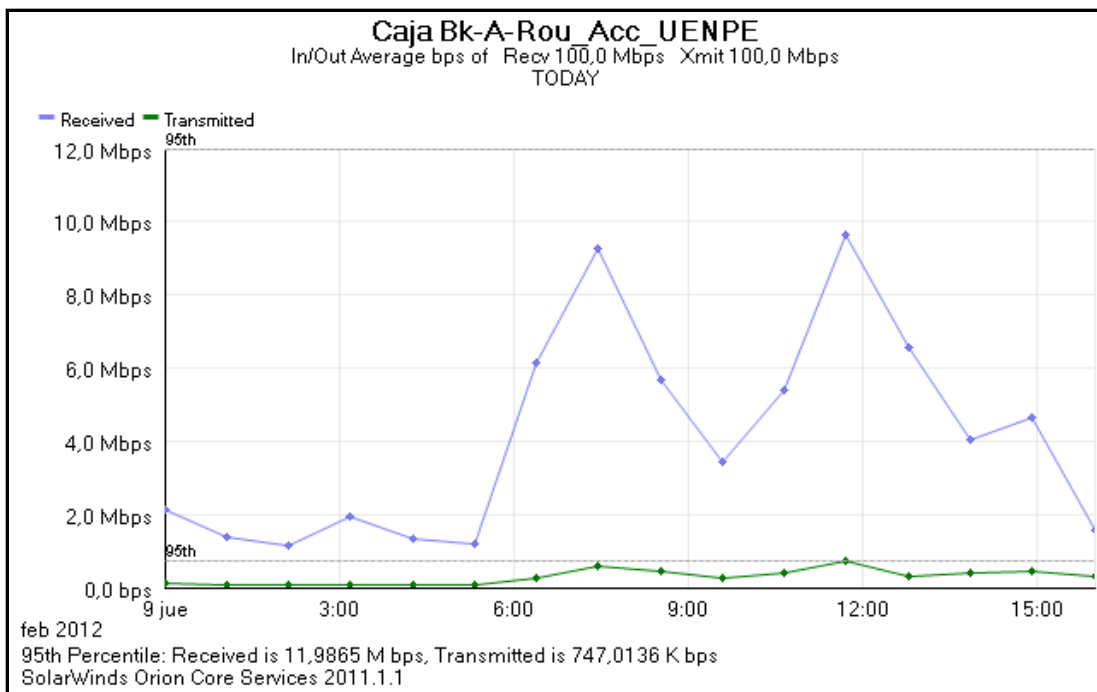


Figura 3.10 Tráfico de bits en el puerto que enlaza el bunker de la Subestación La Caja con el Router de Acceso a la UENPE en un día.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Tabla 3.29 Máximo de bits recibidos y transmitidos durante el periodo de muestreo de 3 días.

Ubicación Router	Máximo día 1		Valor Máximo día 2		Valor Máximo día 3	
	Recibido (Mbps)	Transmitido (Mbps)	Recibido (Mbps)	Transmitido (Mbps)	Recibido (Mbps)	Transmitido (Mbps)
Caja UENPE	10	1	14	2	24	5
Cariblanco UENPE	1	7	16	1	24	16
Rio Macho UENPE	4	7	7	3	3	7
Tanque UENPE	5	4	8	8	10	6
Toro UENPE	5	2	20	2	20	6
Mínimo	1	1	7	1	3	5
Máximo	10	7	20	8	24	16

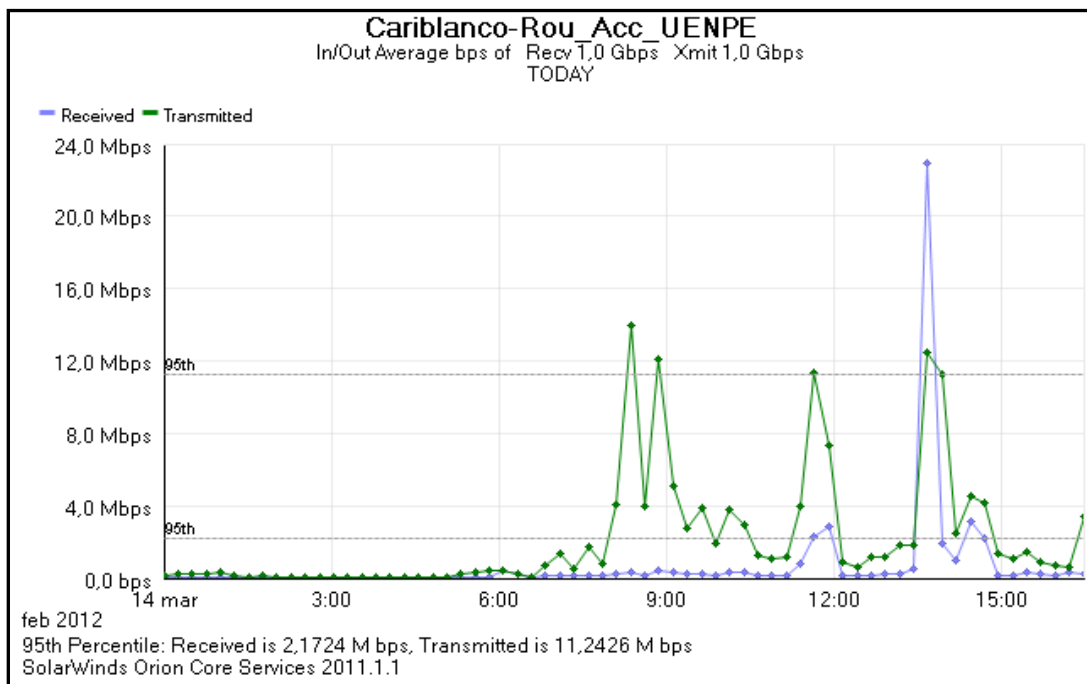


Figura 3.11 Tráfico de bits en el puerto que enlaza el bunker de la Subestación Cariblanco con el Router de Acceso a la UENPE en un día.

3.4. Enlace Subestación de Cónnavas con Agencia de Cartago

En esta sección se hará un diseño del enlace que comunicaría la Subestación de Cónnavas (ubicada en paraíso de Cartago), con la Agencia ICE de Cartago (ubicada en el centro de Cartago, 50 metros oeste de los Tribunales de Justicia). El objetivo principal de esta sección es cuantificar económicamente el costo, de la compra e instalación de equipo, para la implementación de un enlace de comunicación por medio de fibra óptica y para un enlace por medio de microonda. Esto dará una muestra del precio que generaría implementar cada enlace y tener una variable más para la escogencia del medio de transmisión.

Se eligió el diseño de este enlace por motivos meramente de comodidad, ya que era necesario hacer visitas de campo a los puntos antes mencionados. Otra de las razones, es por ser un enlace cercano a los 5km de distancia, ya sea por medio de fibra o por medio de microonda, por lo que para efectos comparativos sería una muestra ideal.

En la sección 3.4.1 se explicará el proceso que se llevo a cabo para lograr el diseño del enlace de fibra óptica. Se hará la comparación entre 2 tipos de fibras ópticas que están en el mercado, para luego escoger la opción más apta para el enlace.

En la sección 3.4.2 se diseñará el enlace por medio de microonda. En donde se tomará nuevamente las pérdidas que genera el enlace de manera teórica, para luego hacer la comparación entre 2 marcas distintas que venden equipo para este tipo de enlace inalámbrico.

3.4.1. Enlace Cónnavas-Cartago por medio de fibra óptica

El primer paso para iniciar con el diseño del enlace de fibra óptica, es visitar cada uno de los puntos que se desean enlazar, con el fin de conocer las características que ofrece el trayecto del enlace. En la figura 3.12 (mapa obtenido por medio de Google Maps) muestra la ruta que se tomaría para la instalación de fibra óptica que conectaría dichos sitios.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

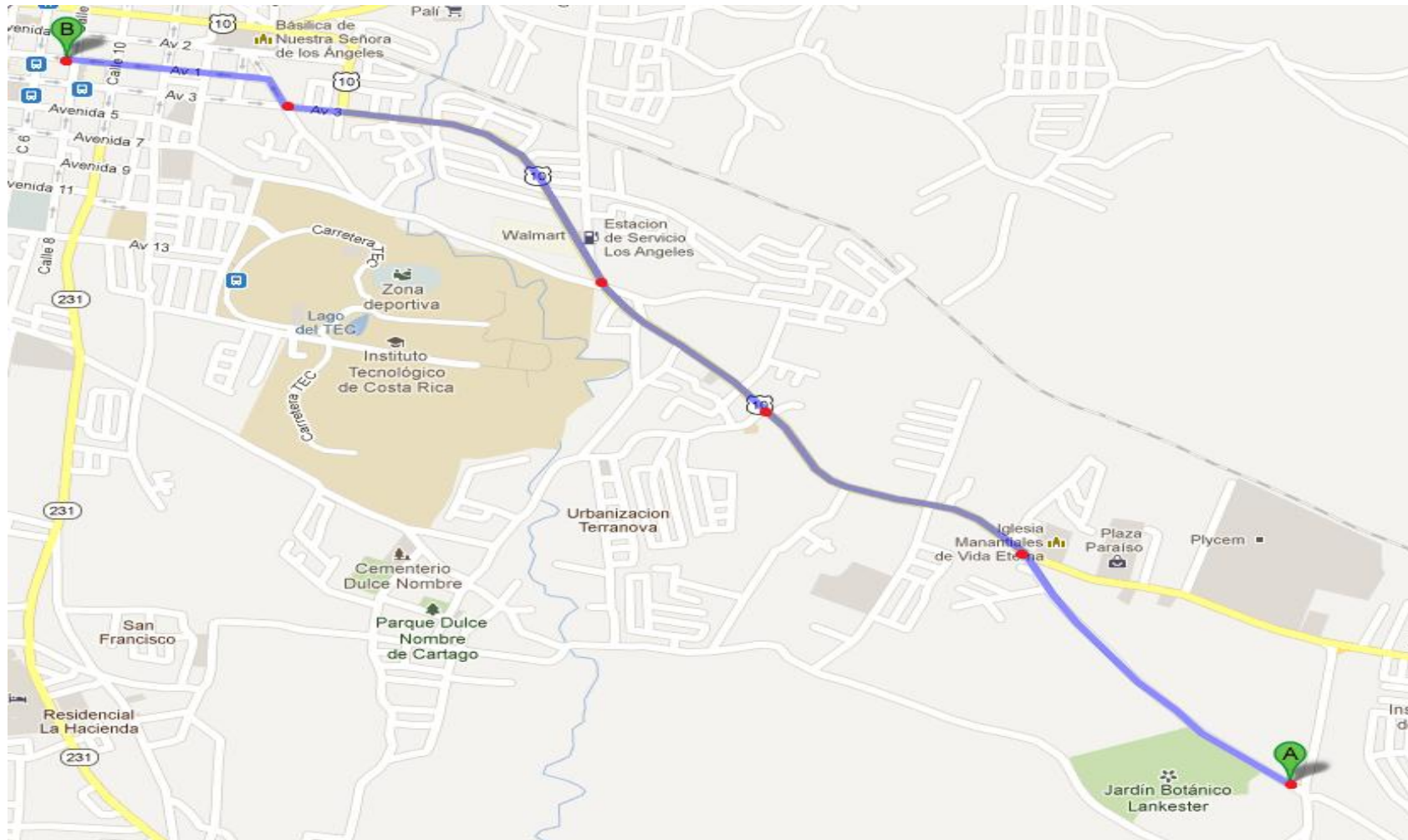


Figura 3.12 Mapa de Google Maps que muestra la ruta en fibra óptica para el enlace Subestación Cónccavas – Agencia Cartago.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

El recorrido se realizó desde la subestación eléctrica de Cóncavas hacia la Agencia ICE. Para obtener la medida de distancia entre ambos lugares, e identificar los puntos donde es necesario dejar previsto metros de fibra óptica como reserva, se utilizó un GPS de marca Etrex-GARMIN, el cual se muestra en la figura 3.13. En la figura 3.12, los puntos rojos identifican los lugares que se decidió colocar rollos de fibra óptica de reserva. La distancia medida entre ambos lugares fue de 4,7km, sin tomar en cuenta los rollos de reserva, lo cuales son de 25metros de longitud cada uno.



Figura 3.13 GPS Etrex-GARMIN. (Tomado de etrexgarmin.com)

Para la instalación de fibra óptica por medio de postes, el ICE en su manual “Normas para cables de fibra óptica”, detalla varios requerimientos que se deben cumplir, a continuación se mencionan algunas de estas normas:

- La longitud mínima entre postes para situaciones normales será de 40m y la máxima de 70m, siempre y cuando no se exceda la tensión máxima permitida. Cuando el poste existente esté muy alejado de un punto de cruce sin apoyo, se colocará otro poste a una distancia no menor de 10m de la esquina.
- Cuando el diseño y la longitud del enlace lo permitan, los tramos de cable de F.O. no deben ser menores a los 2000m. Durante la construcción del enlace solo se permitirá un tramo igual o mayor a los 500m.
- La altura mínima en todo cable aéreo será de 4.5m en la flecha máxima y de 5m en los cruces de calle, procurando siempre que sean superiores a las mínimas.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

- Debe quedar un mínimo de 15m de cable a cada extremo del empalme. En casos especiales se permite un mínimo de 12m.

Durante el recorrido, se tomaron en cuenta dichas normas, y se verificó la distancia existente entre los postes, el número de postes que están instalados en la ruta y el tipo de poste que hay en el trayecto. Para la elección de la ruta del enlace, se eligió el trayecto de postes con menos saturación de cables.

Luego de haber conocido el trayecto del enlace, se procede a escoger el tipo de fibra óptica para la instalación del enlace. Como se pudo observar en la sección 3.1.1, la fibra óptica apropiada para largas distancias es la fibra de vidrio/monomodo, así como utilizar transmisores que trabajen en las ventanas de 1310nm y 1550nm.

También se debe tomar en cuenta los tipos de fibra óptica que existen en el mercado para la instalación en postes de electricidad, los cuales se mencionan en la sección 2.1.6 del marco teórico. En la tabla 3.30 se realiza una comparación técnica entre los cables de tipo ADSS y LASHED. Como se muestra en la tabla 3.30, el cable ADSS muestra mejores características que el cable LASHED. Características como la “Instalación en sistema existente” y “Transferencias de esfuerzos para las fibras con el tiempo” hacen del cable ADSS el más adecuado para la instalación del enlace.

Otro factor importante a tomar en cuenta es que las fibras monomodo generalmente deben cumplir con la norma ITU-T G652, ITU-T G653 ó ITU-T G655. Para la escogencia de la fibra óptica, debemos basarnos en estas recomendaciones.

- Fibra monomodo estándar (ITU-T G652): describe un cable de fibra óptica monomodo con “zero-dispersion wavelength” alrededor de 1310nm. Es optimizada para uso en la región de longitud de onda de 1310nm pero también puede ser usada en la región de 1550nm. Es la fibra monomodo más común, apta para la mayoría de aplicaciones, útil en distancias en el orden de los 100km.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

- Fibra monomodo de dispersión desplazada (ITU-T G653): fibra optimizada para transmisión en tercera ventana, recomendable en aquellas aplicaciones de muy alta velocidad y larga distancia. Puede ser usada también alrededor de 1310nm sujeto a las restricciones de la recomendación.
- Fibra monomodo de dispersión desplazada no nula cero (ITU-T G55): fibra diseñada para aplicaciones DWDM. Se caracteriza por una muy baja dispersión a 1550nm y una elevada área efectiva, que evita los efectos no lineales de la alta velocidad en este tipo de transmisión.

Tabla 3.30 Características de los cables de fibra óptica ADSS y LASHED

CARACTERÍSTICAS	ADSS	LASHED
Confiabilidad	Alta	Bajo
Independencia de pararrayo	Total	Ninguno
Instalación en sistema nuevo	Simple	Media
Instalación en sistema Existente	Simple	Complejo
Trabajo con tensión enganchada	Simple	Complejo
Facilidad de Mantenimiento	Fácil	Difícil
Costo del producto	Bajo	Bajo
Costo de instalación	Bajo	Muy Alto
Costo total del sistema	Bajo	Alto
Transferencia de esfuerzos para fibras con el tiempo	Bajo	Alto
Acceso a fibras ópticas	Fácil	Fácil

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Tomando en cuenta estas características, se realiza una comparación entre 2 marcas comerciales que fabrican fibras ópticas: All Wave y General Cable. Según su hoja de datos, ambos fabricantes cumplen con los siguientes estándares: ITU-T G.652, IEC 60793-2-50, TIA/EIA 492-CAAB y trabajan tanto en 1310nm y 1550nm. En la tabla 3.31 se muestra una comparación entre ambas marcas con relación a la atenuación que presenta cada una.

Tabla 3.31 Tabla comparativa entre las fibras ópticas de All Wave y General Cable con respecto a su atenuación.

	All Wave		General Cable	
	1310	1550	1310	1550
Mínima	0,32	0,19	0,35	0,25
Máxima	0,34	0,21	0,40	0,30

En el folleto “Normas para cables de fibra óptica”, las fibras ópticas deben satisfacer los siguientes parámetros de atenuación lineal:

- ≤ 0.42 dB/km (en la ventana de 1310)
- ≤ 0.32 dB/km (en la ventana de 1550)

Por lo tanto, ambos cables cumplen con ese requisito. Ahora se procede a realizar el cálculo teórico del presupuesto óptico con los datos expuestos en la tabla 3.31, pero únicamente utilizando el valor máximo de atenuación. Ver tabla 3.32.

Tabla 3.32 Presupuesto óptico para enlace Cóncavas – Agencia Cartago

Marca	Distancia (km)	Nº de empalme	Segunda Ventana (1310nm)			Tercera Ventana (1550nm)		
			(dB/km)	Teórica(dB)	10% (dB)	(dB/km)	Teórica(dB)	10% (dB)
All Wave	6	3	0,34	3,990	4,389	0,21	3,210	3,531
General Cable	6	3	0,4	4,350	4,785	0,3	3,750	4,125

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Como se observa en la tabla 3.32, la fibra óptica de marca All Ware es la que produce menos pérdidas en el enlace. Para el cálculo de la tabla 3.32 se tomó una distancia de 6km, la cual incluye los 6 rollos de reserva de 25 metros que se desean instalar en el trayecto, así como los 30metros que se requieren dejar en el empalme del enlace. Los 4,7km fueron medidos desde la entrada de la subestación hasta la entrada de la Agencia, por lo que faltaría considerar la distancia de la entrada de la subestación hasta el bunker de control, por lo que esta distancia, también está considerada en los 6km de fibra presupuestados para el enlace.

Ahora se procede a la selección de los transceivers donde se comparó la hoja de datos de 2 marcas de transceivers: el Avago AFCT-5611Z y el MGBC-20 de Stratos Lightwave. Se debe tomar en cuenta que para una distancia de 6km, lo ideal es trabajar en la ventana de 1310nm, según lo que se detalló en el marco teórico. Ambos transceivers son genéricos pero son compatibles con la marca Brocade (marca del equipo de la red MPLS que el ICE está instalando). Ambos poseen una potencia de 10,5dBm para la ventana de 1310nm, lo cual es suficiente si lo comparamos con los cálculos de atenuación que se muestran en la tabla 3.32. Al comparar ambas hojas de datos, notamos que ambos transceivers tienen propiedades idénticas, pero para efectos de este proyecto se escogió el MGBC-20, ya que este tiene la posibilidad de trabajar en la ventana de 1550nm, lo cual da la opción de trabajar en distancias mayores si se deseara.



Figura 3.14 Transceiver MGBC-20 de Stratos Lightwave. (Tomado de la hoja de datos)

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Se continúa con la escogencia del equipo de distribución que será instalado en la Subestación y en la Agencia. Para este fin, se eligió el switch “FastIron LS 624-STk” de la marca Brocade. Es un switch con la capacidad de trabajar con conexiones de 1 o 10Gigabit, posee 24 puertos Ethernet RJ-45 de 10/100/1000Mbps, y ofrece altos niveles de seguridad y QoS. Cabe recalcar que los equipos que componen la red MPLS del ICE son de marca Brocade, por lo tanto, por razones de compatibilidad, el “FastIron LS 624-STk” representa la mejor opción. En los anexos, se ajunta la hoja de datos de este equipo.



Figura 3.15 Switch FastIron LS 624-STk. (Tomado de la hoja de datos)

Finalmente, con la información antes expuesta, se realizó el cálculo de los costos, en los que se detalla el equipo e instalación del enlace de fibra óptica. Estos cálculos se realizaron con respecto al precio de fibra óptica tipo ADSS figura 8, debido a las características que se mencionaron en el marco teórico y en esta sección. También, se obtuvo los costos de los cables de fibra con 24 y 48 hilos, con el fin de comparar el costo que cada tipo de cable.

En la tabla 3.33 se muestra la cantidad y el precio de los materiales que se requieren para la instalación de este enlace de fibra óptica. Mientras que en la tabla 3.34 se encuentran los costos de instalación para dicho enlace. Tanto los materiales como los costos de instalación son en base al enlace de “Cóncevas –Cartago”, por lo que los materiales y la instalación de otros enlaces por medio de fibra óptica podrían diferir con respecto la cantidad y tipos de materiales.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Tabla 3.33 Costos de materiales para la instalación del enlace Cónccavas – Agencia Cartago.

Cantidad	Unidad	Descripción	Precio unidad	Precio Total
26	c/u	Gazas h0 Galvanizada 125 mmm	\$5,20	\$135,20
74	c/u	Gazas h0 Galvanizada 100 mmm	\$5,60	\$414,40
20	c/u	Gazas h0 Galvanizada 80 mmm	\$6,10	\$122,00
262	c/u	Remate permeado curvo 6.35 mm	\$1,82	\$476,84
262	c/u	Casquillo galvanizado 9.52 mm	\$1,40	\$366,80
260	c/u	Anillo Galv. 12,70 X 50.8 mm	\$2,50	\$650,00
10	c/u	Cable ero galvanizado de 1/4	\$421,20	\$4.212,00
6.000	m	Cable fibra Óptica 24 hilos Figura 8	\$2,50	\$15.000,00
6	c/u	Rollos de vinyl	\$3,60	\$21,60
100	c/u	Gasas Plásticas de 35 cm largas	\$4,00	\$400,00
4	c/u	Calcomanías de F.O.	\$108,00	\$432,00
1	c/u	Cierre p/ empalme de 24 Fibras	\$210,00	\$210,00
1	c/u	Rack de pie 180X	\$200,00	\$200,00
24	c/u	Pig-tail de 6mts FC/FC (24-48)	\$4,14	\$99,36
100	c/u	Gazas Plásticas de 12 cm Medianas	\$1,60	\$160,00
2	c/u	Varillas de Tierras de 15.88X 3mts	\$12,40	\$24,80
2	c/u	Tubos p/ tierra de 12.70x 3mts de alta resistencia	\$20,80	\$41,60
2	c/u	Kilos de alambre desnudo de cobre # 8	\$11,70	\$23,40
1	c/u	caja de cinta Ban-it de 12.70x30.58m	\$17,80	\$17,80
25	c/u	Hebillas p/ cinta de acero de 12.70 mm	\$14,40	\$360,00
1	c/u	distribuidor óptico de 24 y 48 marca 3m	\$250,00	\$250,00
2	c/u	Conector barril de 1/2	\$6,50	\$13,00
2	c/u	Switch FastIron LS 624-STk	\$4.120,99	\$8.241,98
2	c/u	Transceivers MGBC-20 de Stratos Lightwave	\$575,00	\$1.150,00
			Sub Total	\$33.022,78
			I.V	\$4.292,96
			Total	\$37.315,74

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Tabla 3.34 Costos de instalación para el enlace Cónccavas – Agencia Cartago.

Cantidad	Unid.	Descripción	Precio Unit.	24 fibras	48 fibras
120	c/u	Instalación Herraje poste concreto	10,00	1200	1200
1	c/u	Instalación de distribuidor	39,27	39,27	39,27
1	c/u	Instalación retenida ancla existente	13,00	13	13
1	c/u	Confección argolla doble	48,19	48,19	48,19
1	c/u	Instalación de bastidor (rack)	52,00	52	52
2	c/u	Instalación electrodos adicionales	45,00	90	90
2	c/u	Instalación tierra en mensajero	55,00	110	110
6.000	m	Instalación cable F.O. aéreo hasta 24 fibras figura 8	1,21	7260	
6.000	m	Instalación cable F.O. aéreo hasta 48 fibras figura 8	2,05	-	12300
200	m	Instalación de soporte para cable de fibra	34,25	6850	6850
1	c/u	Confección de cabeza de 24 fibras en rack	835,00	835	
1	c/u	Empalme recto aéreo de 24 fibras	520,00	520	
1	c/u	Confección de cabeza de 48 fibras en rack	1022,60	-	1022,6
1	c/u	Empalme recto aéreo de 48 fibras	1300,00	-	1300
			Total \$	17017,46	23025,06

Los precios mostrados en las tabla 3.33, ya está considerado el 13% del Impuesto de Venta.

3.4.2. Enlace Cóncavas-Cartago por medio de microonda

En este apartado se inicia el diseño del enlace por medio de microonda entre la Subestación Cóncavas y la Agencia ICE de Cartago. El primer paso es conocer la posición geográfica en que se encuentra cada lugar y verificar si existe línea vista. En las tablas 3.18 y 3.24 ya obtuvimos estos datos. En la figura 3.16 se verifica la existencia de línea vista entre los puntos, y el relieve que se encuentra entre ambos sitios. La distancia en línea vista sería de 4,37km y se utiliza 2 antenas colocadas a 15metros de altura con respecto al suelo.

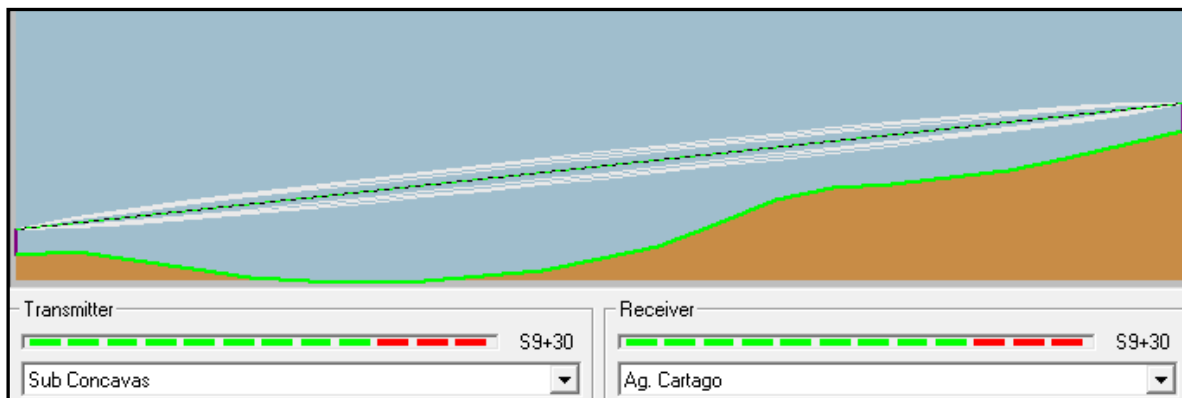


Figura 3.16 Línea vista en RadioMobile entre la Subestación Cóncavas con la Agencia ICE de Cartago.

El siguiente paso es la escogencia de la frecuencia adecuada para implementar el enlace inalámbrico. Para este caso se toma nuevamente como referencia las recomendaciones ITU de la tabla 3.22, donde de nuevo lo ideal es escoger las frecuencias cercanas a los 18GHz.

Con esta referencia, acudimos al Decreto N° 35257-MINAET en el cual especifica los usos que se le asignan a cada rango de frecuencias del espectro radioeléctrico. En el caso de las frecuencias cercanas a los 18GHz son frecuencias utilizadas para aplicaciones enlaces punto a punto terrestres y para enlaces satelitales. El rango de 17,7–19,7 GHz se atribuye para redes públicas o para radio enlaces de conexión de redes públicas o privadas, por lo que es necesario solicitar una autorización a SUTEL.

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Con base a estas características, se eligió el equipo para poder implementar el enlace por medio de microondas. En esta etapa, se comparó dos marcas diferentes que fabrican este tipo de equipo, los cuales son: Ceragon y Trango. Ambas marcas, mostraron características técnicas muy similares entre sí, pero según opiniones de expertos en el tema, Ceragon se utiliza especialmente en los enlaces con frecuencias licenciadas y de alta velocidad, mientras que los equipos de Trango, son más eficientes para enlaces inalámbricos con frecuencias no licenciadas. La marca Ceragon, específicamente la serie IP10-E, son equipos más flexibles y versátiles con respecto al diseño de un enlace que requiera diversidad en el sistema. En los anexos se adjuntan las hojas de datos sobre las características técnicas de los equipos Ceragon.

Ahora, con los datos técnicos suministrados por la hoja de datos de los productos Ceragon de la serie IP10, se realiza los cálculos del presupuesto del enlace. En la tabla 3.35 se muestran las características de los productos Ceragon, y en la tabla 3.36 se muestran los datos obtenidos con relación a las pérdidas del enlace.

Tabla 3.35 Datos técnicos de los productos IP10 de Ceragon para un enlace de 18GHz.

Potencia de Transmisión		Sensitividad de Recepción		Ganancia Antena	Pérdidas en línea
Watt	dBm	μ W	dBm	dBi	dB
0,1584893	22	14,9624	-83,5	44,5	0,5

Tabla 3.36 Resultados obtenidos de las pérdidas generadas por el enlace “Cónccavas-Cartago”.

Enlace Subestación Cónccavas – Agencia Cartago					
Distancia (km)	Frecuencia (GHz)	Espacio libre (dB)	Propagación (dB)	Rx por encima de la requerida (dB)	Zona 1 de Fresnel
4,37	18	130,3	137,1	56,4	6,5

CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL PROYECTO

Finalmente, en la tabla 3.37 se muestran los precios del equipo necesario para la implementación de un enlace de microonda con las características antes mencionadas. Para esta cotización se solicitó un soporte de 3 metros para la instalación de las antenas en los sitios, ya que para cada sitio se aprovecharía la infraestructura de los edificios tanto en la subestación, como el de la agencia. Si se llegara a necesitar la instalación de una torre de mayor altura, se cotizó una torre arriestrada de 9 metros que tiene un valor aproximado a los \$ 8.500,00, por lo tanto, los costos del enlace aumentarían considerablemente.

También se solicitó la adición de un equipo para aumentar la diversidad y la confiabilidad del enlace, por lo tanto, se cotizó un kit que le otorgara al sistema diversidad de frecuencias. Se eligió este tipo de diversidad, ya que el precio al adquirir una antena extra, para obtener diversidad de espacio en el enlace, es mucho más elevado que el precio de este kit 1+0. Además la instalación se realizaría en el mismo sitio que el equipo principal, por lo que no tiene mucha lógica implementar un diseño de este tipo. Es importante mencionar que el costo de instalación del enlace sería cercano al 50% del valor total del equipo, sería aproximadamente de unos \$13.100,00.

Tabla 3.37 Tabla de confiabilidad de un enlace.

Cantidad	Descripción	Precio unidad	Total
2	IP10-E(R3) Eth-only, SyncU	\$1.925,00	\$3.850,00
2	IP10 IDU Capacity 50Mbps	\$880,00	\$1.760,00
1	IP10 IDU Metro Switch Enabled	\$660,00	\$660,00
2	RFU-CX-18-Unspecified-TH	\$3.080,00	\$6.160,00
1	Cable, material, RG-8/U, 200M, 50 OHM, 10 AWG,PE	\$586,96	\$586,96
2	4'ANT, SP, 18GHZ, Crgn&Std UBR220 Int-ANDR	\$3.140,24	\$6.280,48
2	Ant Pol mount 1-6FT	\$2.138,58	\$4.277,16
2	KIT installation per terminal 1+0 Slim	\$280,72	\$561,44
2	SFP optical interface 1000BASE-LX*ROHS	\$191,40	\$382,80
		Subtotal	\$24.518,84
		I.V.	\$3.187,45
		Total	\$27.706,29

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La sección correspondiente a la fibra óptica, la cual se dividió en dos secciones: Atenuación en fibras ópticas de plástico y vidrio y Presupuesto óptico.

Los objetivos de la sección **Atenuación en fibras ópticas de plástico y vidrio** fueron, demostrar las diferencias con relación a los valores de atenuación, entre las fibras ópticas de plástico y las fibras de vidrio, así como confirmar las características y usos que se le asignan a estos tipos de fibra. En la cual obtuvimos mediciones de voltaje y atenuación para distintas longitudes de fibra óptica, de vidrio y de plástico.

Como se puede observar en las figuras 3.2 y 3.3 la atenuación para la fibra de plástico tienen un comportamiento casi lineal, entre más largo sea el trayecto que necesita recorrer el haz de luz, más alta es la atenuación.

Ahora, si se compara las tablas 3.4 y 3.5 correspondientes a la atenuación para fibras de plástico, con las tablas 3.6 y 3.7 que corresponden a las fibras de vidrio, se notará que las fibras de vidrio tienen una menor atenuación. Por ejemplo, para una distancia de 20 metros en las tablas 3.4 y 3.5 se obtuvo una atenuación de 5.618 y 15.054 dB respectivamente, mientras que en las tablas 3.6 y 3.7 se obtuvo valores de 0.452 y 1.262 dB de atenuación. Para el diodo emisor 4180.13 (fibra de vidrio), se obtuvo un 350% menos de la atenuación con relación al diodo emisor 4180.5 (fibra de plástico).

Con el diodo emisor 4180.12 se obtuvo las menores atenuaciones, aun con el acople mecánico, el cual aumenta la atenuación aproximadamente un 120% con relación a la medida a 20 metros, según los resultados obtenidos. Estos datos confirman que para distancia extensas mayores a un 1km, lo recomendable e ideal es el utilizar fibra de vidrio monomodo, mientras que para distancia cortas, se recomiendan los enlaces de fibra de plástico multimodo, debido a su alta atenuación. Por lo tanto, para estos enlaces entre “Subestaciones Eléctricas y Agencias ICE” son necesarios enlaces de fibra óptica de vidrio.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la sección correspondiente al **Prepuestro óptico de los enlaces**, se tiene como dato principal la distancia que existe entre los enlaces “Subestación Eléctrica - Agencia ICE”, como se observa en las tablas 3.8, 3.9 y 3.10. Con base a estos valores, se agrupa los enlaces según su distancia como se observa en la tabla 4.1. En figura 4.1 se gráfica los porcentajes que corresponden a cada grupo. Esta agrupación es importante, ya que es de gran ayuda al momento de cuantificar el costo económico individual y total de los enlaces en fibra óptica, aparte de subdividir los enlaces no solamente en regiones, sino por su distancia.

Tabla 4.1 Distribución de enlaces por medio de fibra óptica según su distancia.

Cantidad de Enlaces según la Distancia					
menores a 5km	menores a 10km	menores a 15 km	menores a 20 km	menores a 30km	mayores a 30km
10	8	7	6	8	2

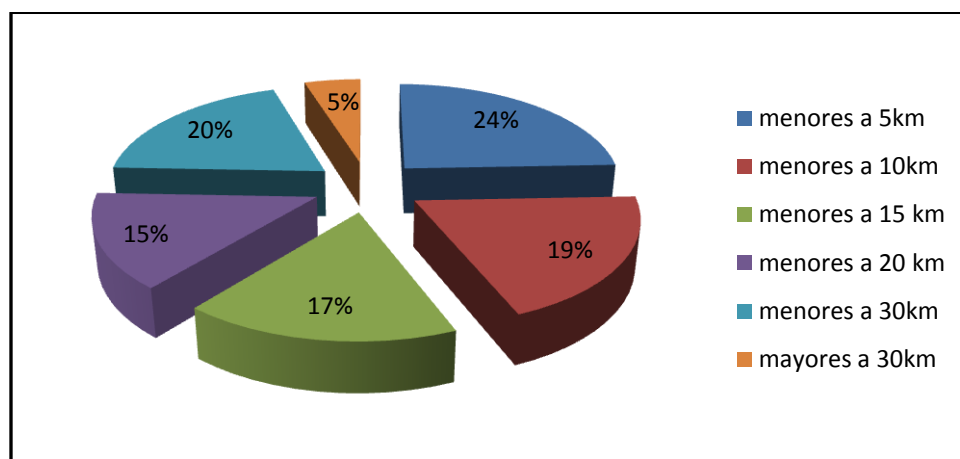


Figura 4.1 Gráfico de porcentajes en relación a la distancia de los enlaces de fibra óptica.

Como se observa en el gráfico, el 60% de los enlaces no superan los 20km, mientras que apenas el 5% de los enlaces superan los 30km.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ahora, al observar el comportamiento de los datos de atenuación en las tablas 3.12, 3.13 y 3.14 se muestra un aumento en la atenuación con relación a la distancia, comportamiento que también se obtuvo en la sección “**Atenuación en fibras ópticas de plástico y vidrio**”. Se grafica los datos correspondientes a dichas tablas, y se obtiene un comportamiento lineal entre distancia y atenuación, como se muestra en la figura 4.2. Cabe recalcar que son datos teóricos, pero en la práctica deberían de tener un comportamiento similar. En dichas tablas también podemos notar enlaces críticos como lo son el de Río Claro – Paso Canóas y el de Poás – Atenas, los cuales superan los 30km de distancia y las pérdidas del enlace superan los 16dB. Para estos enlaces es recomendable utilizar transceiver de mayor potencia o utilizar la tercera ventana de 1550nm.

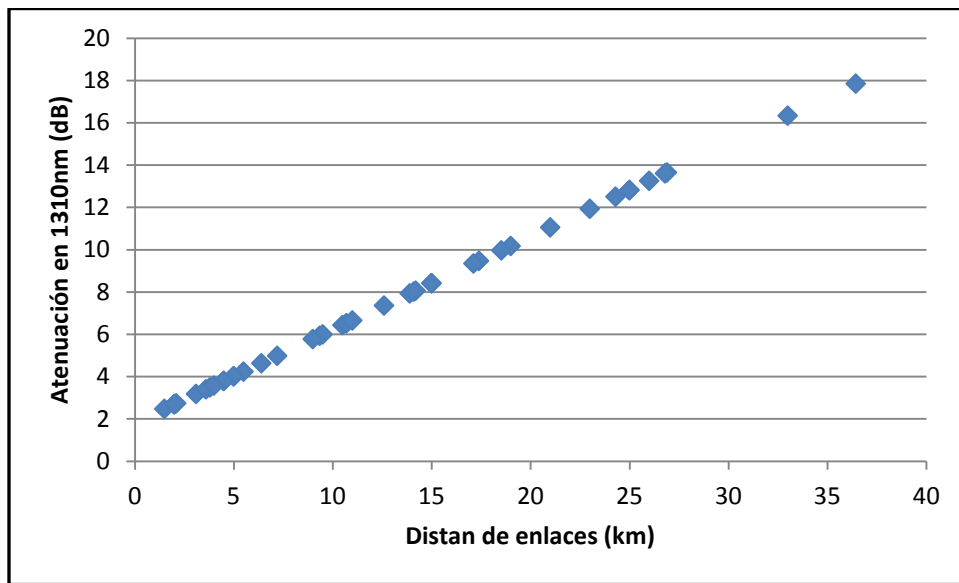


Figura 4.2 Gráfico del comportamiento atenuación vs distancia.

Finalmente con respecto a esta sección, se puede comparar los resultados obtenidos entre la ventana de 1310nm y la ventana de 1550nm. Como era de esperar, debido a las características mínimas que se exigen para el uso de fibra óptica para cada ventana de trabajo, la ventana de 1550nm resultó ser la de menor atenuación. Y como se puede observar en la Figura 2.8 del marco teórico, por características físicas, en la ventana de 1550nm existe menor absorción que en las ventanas de 850nm y 1310nm.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISIS DE RESULTADOS

Estos valores teóricos se deben considerar como importantes, ya que cuantifican de manera aproximada la potencia de los transmisores ópticos para cada enlace, escoger la ventana del espectro con que se desea trabajar según su distancia, así como las variables técnicas y económicas que podría generar el enlace.

Ahora se continúa con el análisis de la sección correspondiente a **“Datos para enlaces de microonda”** en donde el objetivo principal fue obtener las características necesarias para la implementación de un enlace de microonda. En la sección, **“Ubicación de puntos de enlace en el simulador Radio Mobile”** se ubicó las subestaciones eléctricas y agencias, y se procedió a enlazar cada sitio. Durante este proceso se encontró distintas posibilidades de topologías para el diseño de los enlaces, como lo son: los enlaces punto a punto y enlaces con una topología en estrella con y sin repetidores. También se encontraron sitios que debido a su posición geográfica dificulta el acceso y la implementación de un enlace por medio de microonda. En la figura 4.3 se muestran los enlaces con topología en estrella, con y sin repetidora. En la Zona Sur del País, para las agencias de San Pedro, Pejibaye y Buenos Aires sería necesaria la instalación de una repetidora que una estos tres puntos y envíe la información hacia la Subestación General. Mientras que para la zona Atlántica, las agencias de Tibacán, Cariari, Guápiles y Guácimo, se enlazan directamente a un punto central el cual sería la subestación de Leesville.

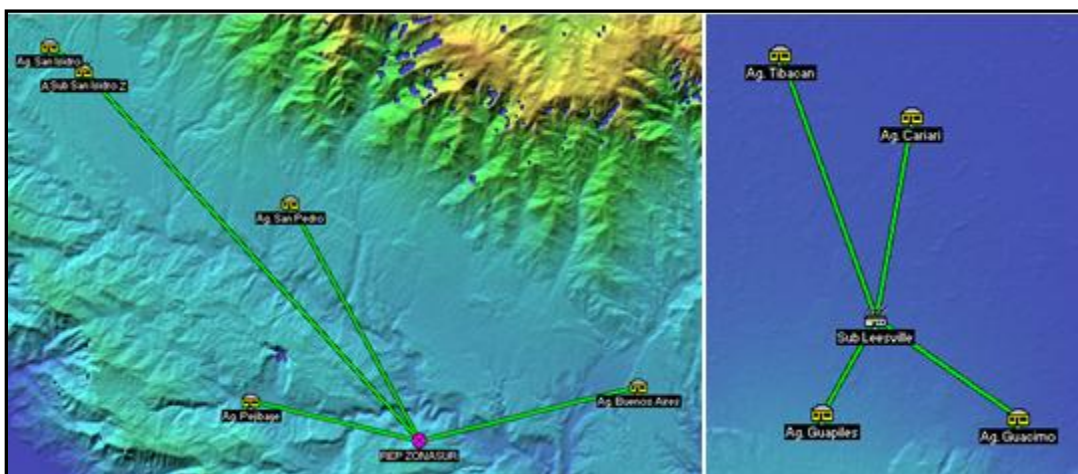


Figura 4.3 Enlaces con topología en estrella con y sin repetidora.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISIS DE RESULTADOS

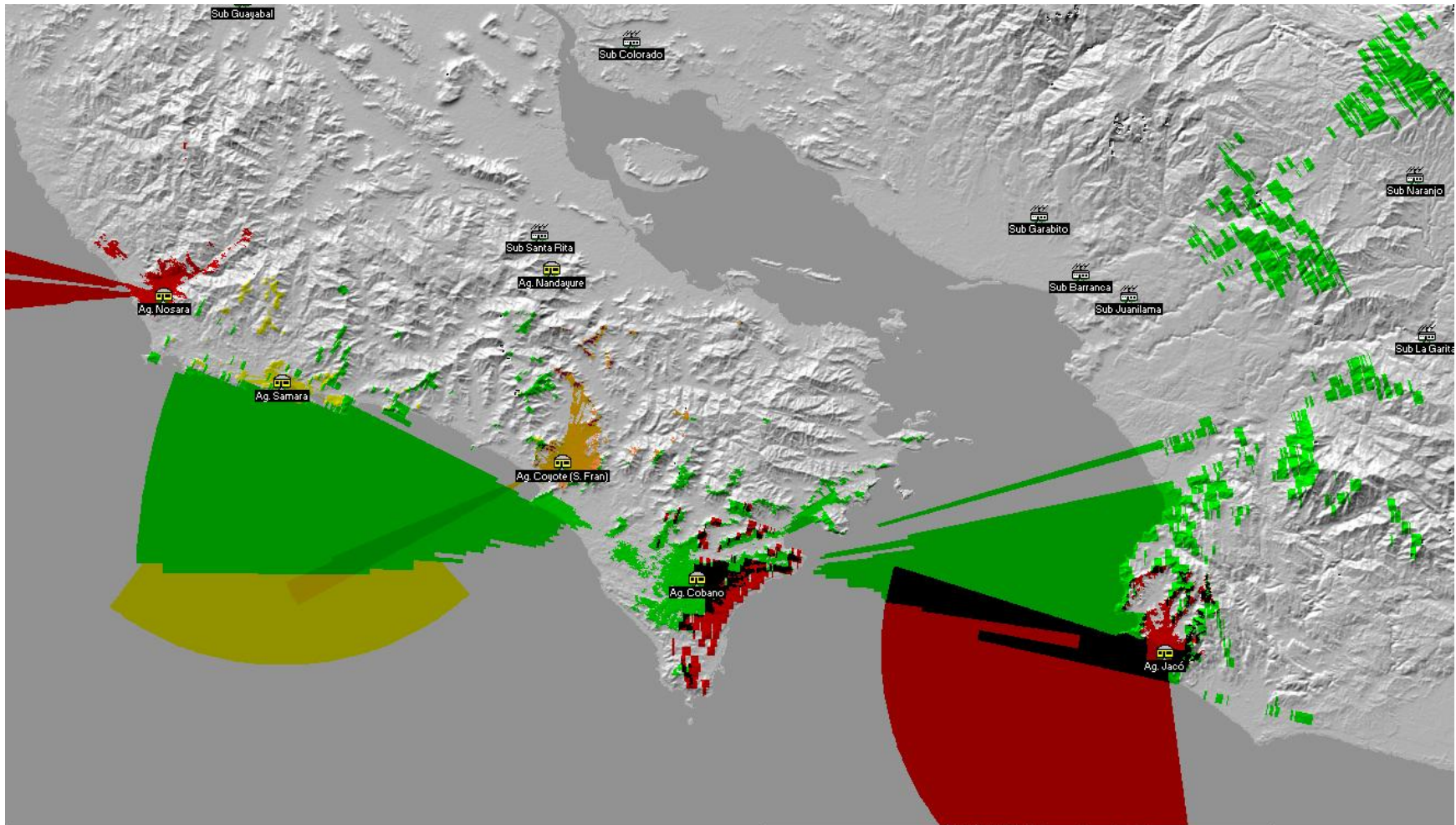


Figura 4.4 Línea vista de cobertura para las Agencias ICE de la costa del Pacífica.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la figura 4.4 se puede observar la ubicación de las agencias de Nosara, Samara, Cóbano, Coyote y Jacó, las cuales se ubican en la costa pacífica del país. Como se nota en la imagen, al ser agencias que se encuentran cerca de la costa, su altitud es la cercana a la del nivel del mar, por lo que la línea vista de cada agencia es reducida y dificulta el enlace por medio de microondas. Para este caso en particular, la subestación más cercana es la de Santa Rita, en la que no existe línea vista hacia ninguna de las agencias, ni aun instalando una repetidora entre los sitios. Para una situación como esta, lo más adecuado sería buscar alguna solución con el Área de Telecomunicaciones de ICE, ya que ellos al tener infraestructura (torres) a lo largo de todo el territorio nacional, pueden facilitar esta infraestructura para tener acceso a estos puntos por medio de microondas. También sería importante realizar un estudio de factibilidad por medio de un enlace de fibra óptica para estos sitios.

Esta sección da una idea del entorno que rodea a cada subestación y agencia, muestra las características de cada sitio y su relieve, por lo que cada enlace, ya sea por fibra óptica o por microonda, tienen distintas características, y esto conlleva a realizar un análisis más profundo para el diseño de cada uno de los enlaces.

De igual manera como se subdividió los enlaces según sus distancias para los enlaces de fibra óptica, en la tabla 4.2 y en el gráfico 4.5 se muestran los porcentajes correspondientes a los enlaces por medio de microonda.

Con base en el gráfico y en la tabla 3.20, los enlaces que superan los 40km de distancia son los enlaces que requieren la instalación de una repetidora para conectar ambos sitios. También en la figura 4.5 se observa que el 70% de los enlaces son menores a 20km de distancia.

Tabla 4.2 Distribución de enlaces por medio de microonda según su distancia.

Cantidad de Enlaces según la Distancia				
Menor a 5km	Menor a 10km	menor a 20km	menor a 40km	mayor a 40km
15	2	12	4	9

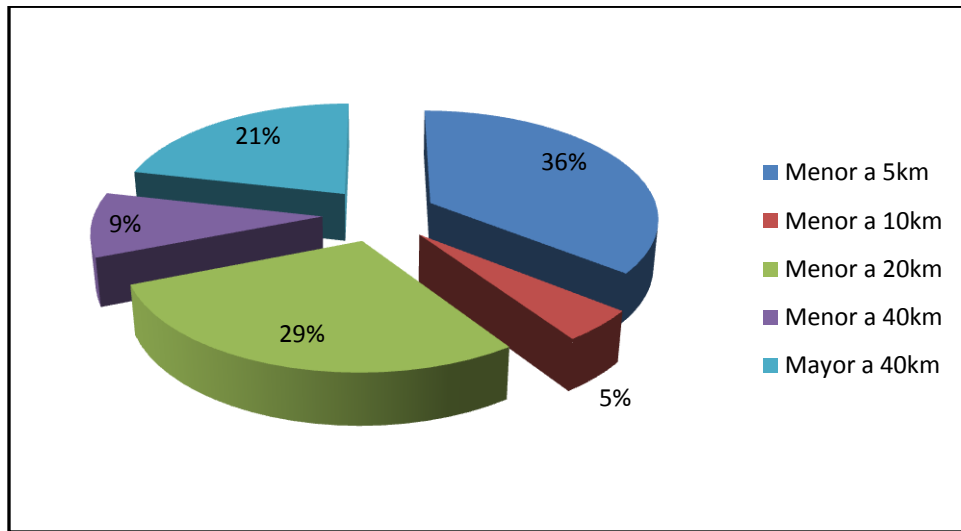


Figura 4.5 Gráfico de porcentajes en relación a la distancia de los enlaces de microonda.

Con relación a las tablas 3.23, 3,24 y 3.35 de la sección “**Presupuesto inalámbrico del enlace**”, se puede concluir que el comportamiento de estos enlaces no es de forma lineal, ya que no basta con la distancia que separa a los puntos, si no que intervienen muchos más factores que favorecen o desfavorecen para que el enlace sea exitoso. Para diseñar un enlace inalámbrico exitoso, debemos tener en cuenta si existe línea vista entre los puntos, los obstáculos que se encuentran durante el trayecto de la señal, así como tener por lo menos el 66% de la primera zona de fresnel libre de obstáculos.

Por ejemplo, en el enlace “Subestación Parrita – Agencias Parrita” de la tabla 3.23, existe línea vista, pero únicamente un 20% de la primera zona de fresnel libre, por lo que el enlace no se considera confiable. Para este enlace en particular, dicho problema puede resolverse aumentando la altura de la antena, lo cual aumentaría el porcentaje libre de la primera zona de fresnel. Por lo tanto, se puede apreciar que entre más libre esté la primera zona de fresnel, las pérdidas de propagación se disminuyen.

En la figura 4.6 se muestra el gráfico correspondiente a los enlaces de 18GHz con relación a la distancia y las pérdidas de propagación. Como se mencionó anteriormente, en el gráfico se puede notar un comportamiento no lineal entre la distancia y las pérdidas de propagación de los enlaces.

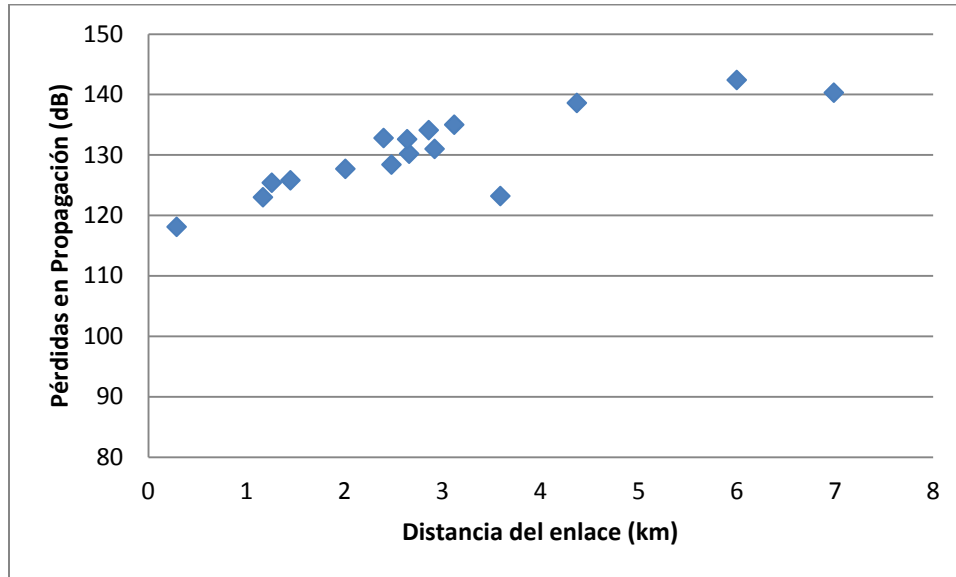


Figura 4.6 Gráfico del comportamiento de las pérdidas de propagación vs distancia para 18GHz.

En la sección “**Tipo de servicio y ancho de banda**” se analizó los posibles servicios que se puede ofrecer en los enlaces “subestación-agencia”, esto con el fin de tener claro una aproximación del ancho de banda necesario para soportar dichos servicios. Se estudió la posibilidad de ofrecer servicios como: VozIP, videoconferencia IP, y acceso a servidores internos y externos al ICE. Si tomamos en cuenta el ancho de banda que requiere cada uno de estos servicios, y el máximo tráfico de la tabla 3.29, que fue de 24Mbps, nos da un total de aproximadamente unos 26Mbps requerido para soportar esta plataforma de servicios.

Se conoce que el ancho de banda de la fibra óptica en la actualidad llega hasta los 1/10/100Gbps, ya que únicamente estos valores dependen de las características del equipo de transmisión que se utilice. Con la instalación de un equipo que soporte 1Gbps, bastaría con sustentar la demanda de ancho de banda requerida por estos servicios.

En el caso de las microondas, como se muestra en la tabla 4.3 también dicha demanda se cumple con modulación PSK. Y si se observa las características del equipo CERAGON cotizado en la sección 3.4.2, dan la posibilidad de enviar 2Gbps, pero por medio del uso de canales de 56MHz como lo estandariza ETSI y FCC, así como los requerimientos de Sutel.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tabla 4.3 Anchos de banda para distintas bandas de frecuencias según ITU.

Banda de frecuencia	Nombre	Datos analógicos		Datos digitales	
		Modulación	Ancho de banda	Modulación	Ancho de banda
300-3000 MHz	UHF	FM, SSB	20 MHz	PSK	10 Mbps
3-30 GHz	SHF	FM	500 MHz	PSK	100 Mbps
30 - 300 GHz	EHF	FM	1 GHz	PSK	750Mbps

El detalle con los enlaces de microondas es la solicitud de permisos y licencias para hacer uso de las frecuencias a Sutel. Por lo que para poder obtener anchos de banda similares a los que da la fibra óptica, se debe hacer una solicitud de un rango amplio de frecuencias, por lo tanto, esto generaría un costo económico adicional del enlace. Cabe recalcar, que las condiciones climáticas (como la lluvia) afectan la velocidad de transmisión de datos, la cual es una de las variables a considerar para la implementación de un enlace de este tipo.

Finalmente para la sección **“Enlace Subestación de Cónccavas con Agencia de Cartago”** se analizó la sección correspondiente al marco teórico y parte de la sección de desarrollo, con el fin de elegir el equipo adecuado para la implementación de los enlaces en fibra óptica y en microondas. Luego de la selección del equipo, se obtuvo los precios de cada uno de estos equipos para calcular los costos aproximados que generaría la instalación de cada tipo de enlace.

Primeramente, se analizó las características del enlace “Cónccavas - Cartago” por medio de fibra óptica. Con base a estas características, se eligió el tipo de la fibra óptica adecuada para realizar la conexión entre ambos sitios. La fibra óptica seleccionada es la fibra de vidrio, monomodo, autosoportada figura 8 y de marca All Ware. Si se compara los valores obtenidos en la tabla 3.13 con los valores obtenidos en la tabla 3.32, se observa que los valores de atenuación obtenidos con base a las características del cable All Ware son menores que los obtenidos en la tabla 3.13. Para la ventana de 1310nm, el cable All Ware disminuyó la atenuación un 16.83% con respecto al valor calculado en la tabla 3.13, mientras que para la ventana de 1550 se redujo la atenuación en un 1.87%.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tanto el cable All Ware como el cable de macar cable General Cable, cumplirían con las características del enlace, ya que se cuenta con un transceiver que posee una potencia de transmisión de 10.5dBm.

Para finalizar con el análisis de la sección correspondiente a la fibra óptica, se obtiene un costo del enlace cercano a los \$54.500,00, donde se considera el costo de los materiales más la instalación del enlace. Como se muestra en la tabla 3.34, el gasto más alto es el relacionado con la instalación del “empalme recto aéreo”, ya que a la hora de instalar se deben realizar pruebas reflectométricas, pruebas de atenuación y pérdida de retorno óptico con cada uno de los hilos de fibra que están encapsulados en el cable. Por eso, si se compara el costo de la instalación para un empalme de 24hilos, con la instalación para un empalme de 48hilos, el costo es casi el doble. Por lo tanto, entre más largo es el enlace de fibra, más empalmes se necesitarían instalar, lo cual generaría un mayor costo económico debido al número de pruebas en los hilos y el número de empalmes necesarios en la ruta.

Una de las características a considerar para los enlaces de fibra óptica, es el tiempo de instalación de la fibra. Se dice que se puede tardar entre 8 a 10 horas la instalación de 1km de distancia. Con respecto al enlace “Cónccavas - Cartago”, se podría decir que la instalación de todo el enlace tardaría alrededor de 5 días. Cabe recalcar que entre más días dure la instalación del enlace, más horas hombre se requerirá, por lo que el costo económico de instalación del enlace aumentará.

Finalmente, para el segundo apartado de la sección “**Enlace Subestación de Cónccavas con Agencia de Cartago**”, cual corresponde al diseño del enlace por medio de microondas, se diseñó un enlace inalámbrico utilizando tanto las recomendaciones ITU como los requisitos que exigen el MINAET y la Sutel. Con respecto a los requisitos que exige el MINAET, el equipo cotizado cumple con tener una potencia de transmisión menor a 24dBm y una ganancia de la antena mayor a 6dBi. Con relación a los requerimientos de Sutel, el sistema de microondas cotizado cumple con la positividad de tener modulación adaptativa. También se exige que por ser un enlace que trabaja con una frecuencia mayor a 10GHz, el equipo debe tener un esquema de modulación hasta los 256QAM.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ahora, si se comparan los resultados obtenidos en la tabla 3.24 con los resultados de la tabla 3.36, se observa que las pérdidas de propagación disminuyeron en un 1% utilizando los parámetros del equipo de Ceragon. También con el equipo Ceragon, la potencia por encima de la requerida aumentó en un 50.8%, y el porcentaje libre de la primera zona de fresnel aumentó en un 0.01% con respecto a los datos obtenidos en la tabla 3.24.

Por último, se obtuvo el costo económico total de la compra y la instalación del equipo de microonda, el cual ronda los \$40.000,00. Cabe recalcar que para este enlace se decidió incorporar diversidad de frecuencias en el sistema, con el objetivo de aumentar la confiabilidad y disponibilidad del enlace.

Con respecto al tiempo que toma la instalación de un enlace por medio de microondas, según se le consultó a expertos en la tema, se podría tardar entre 2 a 3 días, depende mucho de la infraestructura que se tenga disponible para la instalación de las antenas y del equipo.

Finalmente, si se compara el costo que genera la instalación de fibra óptica con el costo de la instalación de un enlace de microonda, existe una diferencia de aproximadamente de \$14.000,00 que hace más costosa la implementación de un enlace por medio de fibra óptica.

Por lo tanto, la elección entre la instalación de un enlace de fibra óptica o la instalación de un enlace de microonda, se centra en dos puntos esencialmente: el presupuesto económico disponible, y el tráfico datos y los servicios que se podrían ofrecer en el enlace. Para el caso del enlace “Subestación Cónavas y Agencia de Cartago”, se podría pensar que la instalación de fibra óptica es muy costosa, pero se debe tomar en cuenta dos factores importantes: la ubicación donde se encuentran los puntos del enlace, que son puntos donde se concentra mucho comercio y existe una densidad importante de población, y el ancho de banda que posee la fibra óptica.

Con la instalación de un enlace de fibra óptica se le podría sacar provecho a estos dos factores, ya que existe la posibilidad de ofrecer servicios de Internet de banda ancha a sitios donde este servicio no está disponible, así como servicios de televisión digital por medio de IPTV, o hasta servir como “carrier” para el transporte de información de alguna empresa que estuviera interesada en llegar con fibra óptica al centro de Cartago. Este tipo de servicios generarían ingresos económicos a la Institución y se facilitaría la recuperación de lo invertido en la instalación del enlace.

Por otro lado, por medio de microondas el gasto de implementación es menor, pero los servicios antes mencionados no serían posibles debido a la limitación del ancho de banda y por ser enlaces punto a punto. Mientras que por medio de fibra óptica, durante el trayecto existe la posibilidad de desviar hilos de fibra del recorrido original, para poder tener acceso a más sitios adyacentes al enlace. Por lo tanto, la recomendación con relación al enlace “Subestación Cónccavas y Agencia de Cartago” es implementarlo por medio de fibra óptica.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Las fibras ópticas de vidrio generan una menor atenuación si se compara con la atenuación que generan las fibras de plástico. Para el caso de este proyecto, se obtuvo hasta un 350% menos de atenuación al utilizar fibras de vidrio. Por lo tanto, para los enlaces de fibra óptica entre “Subestaciones – Agencias” se debe utilizar fibra óptica de vidrio monomodo auto soportada.
- Al aumentar la longitud de la fibra óptica (distancia del enlace), más alta será la atenuación, cuyo valor dependerá de las propiedades físicas de la fibra óptica.
- Al utilizar acoples mecánicos, se obtuvo un aumento en la atenuación de un 53,5% aproximadamente, tomando como base los datos obtenidos para 20metros y 21metros de longitud en la sección correspondiente a las fibras de vidrio.
- Al agrupar los enlaces por medio de fibra óptica según su distancia, se obtuvo que el 60% de los enlaces no superaban los 20km de distancia, mientras que apenas el 5% de los enlaces superan los 30km.
- En el cálculo para el presupuesto óptico, se obtuvo una relación lineal entre la atención y la distancia, donde se tomó en cuenta variables como las pérdidas por el empalme, atenuación de la fibra y pérdidas en conectores. Dichos resultados se calcularon para la ventana de trabajo de 1310nm y 1550nm. Los resultados en la ventana de 1550nm se obtuvieron las menores atenuaciones en comparación con los resultados que se calcularon para la ventana de 1310nm.
- Debido a las distintas características que presentan los sitios en que se encuentran las subestaciones eléctricas y las agencias (distancia entre los puntos, relieve de la zona, línea vista), tanto en fibra óptica como en microonda existen la posibilidad de tener configuraciones punto a punto y en configuración estrella. En el caso especial de las microondas, cuando no existe línea vista entre los sitios, será necesario la instalación de una antena repetidora que enlace ambos puntos.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las agencias que se encuentran en las costas, son los puntos de más difícil acceso tanto para los enlaces en fibra óptica, como los enlaces en microonda, debido a su altitud con relación al nivel mar.
- En los enlaces de microondas, los enlaces que superan los 40km de distancia son los enlaces que requieren la instalación de una repetidora para comunicar los sitios, debido a la falta de línea vista. Y donde el 70% de los enlaces, son menores a 20km de distancia.
- Para que un enlace de microonda sea exitoso, el 66% de la primera zona de fresnel debe de estar libre de obstáculos, por lo que las pérdidas de propagación están relacionadas directamente con el porcentaje libre de la zona de fresnel.
- Los servicios de VoZIP, videoconferencia, acceso a servidores externos e internos del ICE demandan un ancho de banda de aproximadamente 26Mbps. Por lo tanto, la fibra óptica y la microonda, sustentan dicha demanda, ya que la fibra puede soportar 1/10/100Gbps, y en las microondas existe la posibilidad de trabajar con 2Gbps, en canales de 56MHz.
- El cable de fibra óptica de marca All Ware resultó poseer mejores características de atenuación que el cable de marca General Cable, ya que disminuyó las pérdidas en para el cálculo del presupuesto óptico. Ambos tipos de cable cumplirían con la transmisión de datos de forma exitosa debido a que se eligió un transmisor con una potencia de 10.5dBm para trayectos de 10km.
- El costo de un enlace en fibra óptica depende esencialmente del número de empalmes que se deban instalar, ya que a cada empalme se le deben realizar pruebas reflectométricas, pruebas de atenuación y pruebas de pérdida de retorno óptico a cada uno de los hilos de fibra, lo cual genera un costo más alto en la instalación. Por lo tanto es más económico utilizar fibra de 24hilos.
- Los equipos Ceragon se utilizan especialmente en los enlaces con frecuencias licenciadas y de alta velocidad. Son equipos versátiles para la implementación de diversidad en el enlace. Los equipos seleccionados cumplen con los requisitos que exigen ITU, MINAET y Sutel.

- La instalación de un enlace por medio de fibra óptica tiene un costo aproximado de \$54.500,00, mientras que un enlace por medio de microonda tiene un costo aproximado de \$40.000,00. Por lo tanto, el enlace de microonda resulta más económico.

5.2. Recomendaciones

Si se toma como referencia el proyecto MPLS que está implementando actualmente el ICE, donde se adquirió equipo robusto que puede ofrecer conexiones de 1/10/100Gbps, se puede suponer que el objetivo de esta red va más allá del intercambio de información entre los actores del Sector Energía, ya que como se pudo comprobar, actualmente se tiene una tasa de datos no máxima a 24Mbps. Por lo tanto, uno de los objetivos de esta red es ofrecer servicios no solo enfocados al Sector Energía, sino a los distintas áreas que cuenta el ICE, así como también ofrecer dichos servicios a empresas externas al él, con el fin de generar ingresos económicos a la Institución. Con base a esta situación:

- La instalación de fibra óptica entre las subestaciones eléctricas con la agencias, daría la posibilidad de llegar a los centro de población con velocidades de 1/10/100Gbps, por lo tanto, se podría ofrecer servicios más allá de los límites de la red que conforman actualmente las subestaciones eléctricas. Dichos servicios se pueden ofrecer a sectores internos al ICE o a empresas externas. Por ejemplo, se podría ofrecer conexiones a Internet hacia los hogares con velocidades que se ofrecen en países del primer mundo, así como la posibilidad de brindar servicios como de televisión digital por medio de IPTV, o servir como “carrier” para el transporte de información a empresas que necesiten conexiones en distintas partes del país. En cambio por medio de enlaces de microonda, se dificulta ofrecer este tipo de servicios debido a su ancho de banda limitado.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Debido al costo que genera la instalación de fibra óptica, se recomienda la instalación de fibra en los enlaces que tengan una distancia menor a los 25km, y donde exista focos densos de población. Ya que facilitaría la oferta de servicios y produciría una rápida recuperación de la inversión. Tanto en la meseta central, como en las cabeceras de provincia, existe mucha demanda de altas velocidades y anchos de banda para empresas nacionales e internacionales.
- Ya que la mayoría de enlaces que superan los 20km de distancia se encuentran en la periferia del país, donde la cantidad de población es menor, dichas agencias se podrían enlazar por medio de microonda, ya que el costo por medio de fibra óptica resulta ser muy elevado para dichas distancias, y posiblemente sea más complicado recuperar la inversión por ser zonas rurales, por lo tanto, no sería económicamente factible.
- Para los enlaces que estén destinados para únicamente el tráfico de información referente al Área de Energía, o sea, enlaces punto a punto, se recomienda la instalación de enlaces de microondas.
- Instalar fibra óptica en los lugares donde la postiería pertenezca al ICE, lo cual permitiría abaratar los costos de instalación y permisos de uso. En cambio, para los enlaces de microonda es necesario adquirir los permisos de Sutel, por lo que resultaría un proceso más lento.
- Ya que cada enlace “Subestación – Agencia” posee una cantidad considerable de características y variables que diferencian a unos con otros, lo ideal es tomar cada enlace como un proyecto individual y valorarlo económicamente, teniendo claro la meta que se seguirá para cada enlace.
- Si se desea instalar enlaces en los que la inversión se recupere en un corto plazo, y se desea una instalación rápida, en donde el ancho de banda no sea un factor determinante, lo ideal sería la instalación de un enlace de microonda.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Stremler, F. G. Sistemas de Comunicación. Tercera Edición, Adison Wesley Iberoamericana, México, 1993.
- [2] Lathi, B. P. Sistemas de Comunicación. McGraw-Hill, México 1986.
- [3] Tomasi, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Segunda Edición, Prentice Hall, México 1996.
- [4] Hayes, Jim. Manual del Técnico de Fibra Óptica. Thomson Delmar Learning, Canada, 2007.
- [5] Agrawal, Govind. Fiber-Optic Communication Systems. Tercera Edición, Wiley Interscience, Estados Unidos, 2002.
- [6] Freeman, Roger L. Radio System Design for Telecommunications, Tercera Edición, Wiley Interscience, Estados Unidos, 2007.
- [7] Normas para cables de fibra óptica, ICE.
- [8] Decreto No 35257-MINAET Mod por Decreto No 35866-MINAET [en línea] [Citado el 20 de noviembre del 2001] Disponible en: http://www.telecom.go.cr/index.php/en-contacto-con-el-usuario/documentos/doc_details/138-pnaf-decreto-no-35257-minaet-modificado-por-decreto-no-35866-minaet
- [9] Characteristics of a single-mode optical fibre cable[en línea] [Citado el 25 de octubre del 2001] Disponible en: http://www.iet.unipi.it/m.luise/HTML/AdT/ITU_G652.pdf
- [10] Characteristics of a dispersión-shifted single-mode optical fibre cable [en línea] [Citado el 25 de octubre del 2001] Disponible en: <http://202.114.9.3/xueke/wldz/bz/g/10.pdf>

CAPÍTULO 6 – BIBLIOGRAFÍA

[11] Characteristics of a non-zero dispersion shifted single-mode optical fibre cable [en línea] [Citado el 25 de octubre del 2001] Disponible en:

<http://202.114.9.3/xueke/wldz/bz/g/6.pdf>

[12] Anchuras de banda y emisiones no deseadas de los sistemas digitales del servicio fijo. Recomendación UIT [en línea] [Citado el 20 de noviembre del 2001] Disponible en:

<http://webs.uvigo.es/servicios/biblioteca/uit/rec/F/R-REC-F.1191-2-200105-I!!PDF-S.pdf>

[13] Antenna characteristics of point-to-point fixed wireless systems to facilitate coordination in high spectrum use areas. REPORT ITU-R F.2059 [en línea] [Citado el 26 de noviembre del 2001] Disponible en:

http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-F.2059-2005-PDF-E.pdf

[14] Anchuras de banda, relaciones señal/ruido y márgenes para el desvanecimiento en sistemas fijos de alta frecuencia. RECOMENDACIÓN UIT-R F.339-7 [en línea] [Citado el 26 de noviembre del 2001] Disponible en:

<http://webs.uvigo.es/servicios/biblioteca/uit/rec/F/R-REC-F.339-7-200602-I!!PDF-S.pdf>

7 APÉNDICES

7.1. Glosario, abreviaturas y simbología

Acopladores: conectan tres o más puntos de fibra óptica.

Ad-Lash: cable de fibra óptica adosado

ADSS: cable de fibra óptica autosoportado

AM: Modulación por amplitud

Ancho de Banda: es la longitud, medida en Hz, del un rango de frecuencias en el que se concentra la mayor parte de la potencia de la señal. Es la cantidad de información que se puede enviar en un tiempo dato.

Ángulo crítico: es el ángulo de incidencia mínimo que produce un ángulo de refracción de 90° o más que permite que luz penetre al material menos denso

Atenuación: es la pérdida de potencia de una señal al ser transmitida por un medio.

Empalme: son uniones permanentes entre dos extremos de fibra.

Fibra óptica: es un medio de transmisión de datos mediante pulsos de luz.

FM: modulación en frecuencia.

FTP: File Transfer Protocol, 'Protocolo de Transferencia de Archivos.

Gbps: Gigabits por segundo.

GPS: Global Positioning System

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad.

ITU: International Telecommunication Union

Mbps: Megabits por segundo.

Microonda: ondas electromagnéticas definidas en un rango desde 2GHz a 300GHz.

MINAET: Ministerio de Ambiente Energía y Telecomunicaciones.

Monomodo: modo de propagación del haz de luz en la fibra. Fibras con núcleo menor a $9\mu\text{m}$.

MPLS: (Multiprotocol Label Switching) es un método que contiene una serie de especificaciones usadas para enrutar los paquetes a través de una red.

Multimodo:

OPGW: optical ground wire. Cable de fibra óptica aéreo que se instala en las líneas transmisión de alta tensión que sirve como cable tierra.

OPPC: optical phase conductor. Cable de fibra óptica aéreo que se instala en los cables de fase en las líneas de alta tensión.

PM: modulación por fase.

PSK: modulación por desplazamiento de fase (Phase Shift Keying).

QAM: modulación de amplitud por cuadratura.

RadioMobile: software para la simulación de sistemas inalámbricos.

Smart Grid: Red Inteligente

SolarWings Orion: gestor para monitorear el tráfico de datos en una red de computadoras

Subestación eléctrica: sitio donde se modifican los niveles de tensión para el transporte y distribución de electricidad.

SUTEL: Superintendencia de Telecomunicaciones.

Switch: Conmutador, equipo digital que trabaja en la Capa 2 del Modelo OSI para la conexión de redes de computadoras.

TCP/IP: Transmission Control Protocol/Internet Protocol.

Transceiver: Transductor, dispositivo que tanto transmite como recibe señales de información.

Videoconferencia IP: comunicación simultánea bidireccional de audio y vídeo en tiempo real.

VozIP: Voz sobre Protocolo de Internet.

Zona de fresnel: es el volumen de espacio que genera una onda eletromagnética entre el emisor y el receptor.

7.2. Anexos

7.2.1. Hojas de datos.

a) Fibra All Wave

Características de Transmisión:

Atenuación (Fibra Óptica no Cableada)
El máximo coeficiente de atenuación (pérdida) se puede especificar de la siguiente forma:

Longitud de onda (nm)	Atenuación (dB/km)	
	Máxima	Típica
1310	0,34	0,32
1383	0,31	0,28
1550	0,21	0,19
1625	0,24	0,20

Atenuación en función de la Longitud de Onda

Rango (nm)	Referencia (nm)	α
1285-1330	1310	0,03
1360-1480	1385	$\pm 0,04$
1525-1575	1550	0,02
1460-1625	1550	0,04

La atenuación en un rango de longitud de onda determinado no excede la atenuación de la longitud de onda de referencia (λ) en un valor mayor que α .

Cambios en Atenuación en el Pico de Agua
El coeficiente de atenuación de la fibra no cableada en el pico de absorción de OH⁻ (1383 \pm 3 nm) tras la exposición a hidrógeno es $\leq 0,31$ dB/km y $\leq 0,28$ dB/km generalmente. El ensayo simula envejecimiento por hidrógeno a largo plazo en cables instalados.

Atenuación de la Microcurvatura
La máxima atenuación con curvatura no superen los valores especificados bajo las siguientes condiciones de tendido:

Condiciones de Tendido	Longitud de Onda	Atenuación Inducida
1 vuelta, diámetro 32 mm (1,2 pulg.)	1550 nm	$\leq 0,05$ dB
	1310 nm	
100 vueltas, diámetro 50 mm (2 pulg.)	1550 nm	$\leq 0,05$ dB
	1310 nm	
100 vueltas, diámetro 60 mm (2,4 pulg.)	1550 nm	$\leq 0,05$ dB
	1625 nm	

Discontinuidad Puntual
No hay atenuación por discontinuidades puntuales mayores que 0,05 dB a 1310 nm o 1550 nm.

Dispersión Cromática

Longitud de onda con dispersión cero (λ_0)	1302-1322 nm
Longitud de onda con dispersión cero típica	1312 nm
Máxima pendiente de dispersión (S_D) a λ_0	0,090 ps/nm ² -km
Pendiente de dispersión típica	0,087 ps/nm ² -km

Diámetro del Campo de Modo

A 1310 nm	$9,2 \pm 0,4$ μ m
A 1550 nm	$10,4 \pm 0,5$ μ m

Longitud de Onda Corta

Longitud de onda corta del cable (λ_c)	≤ 1260 nm
--	----------------

Características Ambientales:

Temperatura de Operación -60° C a +85° C

Atenuación en Función de la Temperatura:

Atenuación inducida a 1310, 1550 & 1625 nm de -60°C a +85°C	$\leq 0,05$ dB/km
---	-------------------

Temperatura y Ciclo de Humedad

Atenuación inducida a 1310, 1550 & 1625 nm de -10°C a +85°C y 95% de humedad relativa	$\leq 0,05$ dB/km
---	-------------------

Inmersión en Agua a 23°C

Atenuación inducida a 1310, 1550 & 1625 nm debido a inmersión en agua a 23 \pm 2°C	$\leq 0,05$ dB/km
--	-------------------

Envejecimiento Acelerado (Temperatura), 85°C

Atenuación inducida a 1310, 1550 & 1625 nm debido a envejecimiento acelerado a 85 \pm 2°C	$\leq 0,05$ dB/km
---	-------------------

Ensayo del Espectro Completo y Garantía de Rendimiento

Características Mecánicas:

Nivel de Puesta: 0,7 GPa (100 kpsi)

Resistencia a la Carga Dinámica:

La resistencia media a la tracción de muestras no envejecidas con una longitud calibrada a 0,5 metros es:	$\geq 3,8$ GPa (550 kpsi)
---	---------------------------

Fuerza para Retirar el Recubrimiento:

La fuerza para retirar en forma mecánica el doble recubrimiento es:	$\geq 1,3$ N (0,3 lbf) y $< 8,9$ N (2,0 lbf)
---	--

Fuerza para Externo (Adhesión del recubrimiento a la superficie de vidrio):

La fuerza para externo:	$> 6,2$ N (1,4 lbf) y $< 22,2$ N (4,9 lbf)
-------------------------	--

Otros Parámetros Característicos:

Índice Efectivo Grupal de Refracción:

1310 nm	1,466
1550 nm	1,467


Parámetro Dinámico de Fatiga (Nd): > 20

Coefficiente Rayleigh de Retrodispersión (pulsos de 1 μ s de ancho):

1310 nm	-79,6 dB
1550 nm	-82,1 dB

Peso por Unidad de Longitud: 64 gramos/km

b) Transceiver MGBC-20 de Stratos Lightwave

MGBC-20-4-X-SV Optical Gigabit Ethernet/Fibre Channel Single Mode Dual Voltage GBIC -- 1.25/1.0625GBaud --- +3.3/+5V						
						
PERFORMANCE SPECIFICATIONS - ELECTRICAL 0°C<Tc<+70°C; +3.15V<Vcc<+5.25V						
PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Supply Current (MGBC-20-4-2M-SV)	Icc		120 180	150 250	mA	Tc =+25°C, Vcc = +3.3 V Tc =+25°C, Vcc = +5.0 V 0° C <Tc<+70°C, +3.15V< Vcc <+5.25V
Supply Current (MGBC-20-4-2U-SV)	Icc		160 170	250 260	mA	Tc =+25°C, Vcc = +3.3 V Tc =+25°C, Vcc = +5.0 V 0° C <Tc<+70°C, +3.15V< Vcc <+5.25V
Supply Current (MGBC-20-4-3-SV)	Icc		160 170	250 260	mA	Tc =+25°C, Vcc = +3.3 V Tc =+25°C, Vcc = +5.0 V 0° C <Tc<+70°C, +3.15V< Vcc <+5.25V
Surge Current	I surge			+30	mA	Surge above steady state value
TRANSMITTER						
PECL Input (Differential)		650		2000	mVpp	AC coupled inputs
Input Impedance (Differential)	Zin	135	150	165	ohms	Rin > 100 kohms @ DC
Tx_DISABLE Input Voltage - High	VH	2		V _{DD} +0.3	V	
Tx_DISABLE Input Voltage - Low	VL	0		0.8	V	
Tx_FAULT Output Voltage -- High	VtOH	Vcc-0.5		Vcc+0.3	V	Io = 400µA; Host Vcc
Tx_FAULT Output Voltage -- Low	VtOL	0		0.5	V	Io = -4.0mA
RECEIVER						
PECL Output (Differential)		400	750	2000	mVpp	AC coupled outputs
Output Impedance (Differential)	Zout	135	150	165	ohms	
Rx_LOS Output Voltage - High	VtOH	Vcc-0.5		Vcc+0.3	V	Io = 400µA; Host Vcc
Rx_LOS Output Voltage - Low	VtOL	0		0.5	V	Io = -4.0mA
Total Jitter (Rk - Pk)	TJ			130	ps	Measured with 2 ⁷ - 1 PRBS
MOD_DEF (02)	VtOH VtOL	2.5 0			V	With Serial ID
MGBC-20-4-2M-SV OPTICAL SPECIFICATIONS - 1310 nm FP Single Mode Laser 0°C<Tc<+70°C; +3.15V<Vcc<+5.25V						
PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Bum Core Diameter SMF		10			km	BER<1.0E-12 @ 1.25/1.0625GBaud
TRANSMITTER						
Optical Center Wavelength	λ	1285	1310	1335	nm	Tcase = +25°C
Spectral Width	Δλ			3	nm	RMS
Optical Transmit Power	Popt	-9.5		-3	dBm	Average @ 1310nm
Extinction Ratio	ER	9			dB	P1/P0
Optical Modulation Amplitude	OMA	180			µW	pk-pk
Relative Intensity Noise	RIN			-120	dB/Hz	Tcase = +25°C
Total Jitter	TJ			170	ps	Measured with 2 ⁷ - 1 PRBS
Output Rise/Fall Time	t _r /t _f			260	ps	20-80%; measured unfiltered
RECEIVER						
Optical Input Wavelength	λ	1270		1610	nm	
Optical Input Power	Pr	-20		-3	dBm	BER<1.0E-12 @ 1.25/1.0625GBaud
Optical Modulation Amplitude	OMA	15			µW	pk-pk
Optical Return Loss	ORL	12			dB	
RX_LOS - Asserted	Pa	-32			dBm	Measured on transition - Low to High
RX_LOS - Deasserted	Pd			-20	dBm	Measured on transition - High to Low
RX_LOS - Hysteresis	Pa-Pd		1.5	5.0	dB	
3059.02 2 of 14						

c) Switch FastIron LS 624-STk

SYSTEM SUMMARY ^{1,2,3}		
Feature	FL5624 FL5624-STK	FL5648 FL5648-STK
Total Switching Performance	108 Gbps	136 Gbps
Full Duplex Forwarding Performance ¹	80 Mpps	101 Mpps
10/100/1000 Port Density	20 plus 4-port Combs	44 plus 4-port Combo
100/1000 Mbps SFP Density	4 Combo Ports	4 Combo Ports
10 Gigabit Ethernet	3	2
100 Mbps Optics	100Base-FX and 100Base-BX	100Base-FX and 100Base-BX
Gigabit Ethernet Optics		SX, LX, LXA, LXB, 1000Base-BX, and CWDM
10 Gigabit Ethernet Optics		CW, SR, LR, ER, ZR, and ZRD
Power Supply	AC (Internal)	
Maximum Number of MAC addresses	16,000	16,000
Maximum Number of VLANs	4,096	4,096
Maximum Number of STP	253	253
IGMP Snooping	v1, v2 and v3	v1, v2 and v3
PIM-SM Snooping	Yes	Yes
L3/L4 Extended Access Control List	Yes	Yes
Stability Features	BPOU and Root Guard, Single Link LACP, Port Loop Detection, Port Flap Dampening, Trunk Threshold	
Maximum Number of Ports per Trunk	8	8
Maximum Number of Trunk Groups	13 (Standalone) 127 (with IronStack)	25 (Standalone) 127 (with IronStack)
Multi-device Authentication and Dynamic VLAN Assignment	Yes	Yes
802.1X Authentication and Dynamic VLAN Assignment	Yes	Yes
MAC-based VLANs	Yes	Yes
Metro Features	Metro Ring Protocol (version I and II), Virtual Switch Redundancy Protocol, VLAN Stacking (Q-in-Q) and Topology Groups	

¹ Switching and forwarding performance specifications are provided for a single FastIron LS switch. ² Port densities are provided for a single FastIron LS switch. ³ All CoS and STP capacities apply to a single FastIron LS switch and to an IronStack configuration of up to eight units.

POWER AND THERMAL SPECIFICATIONS					
	Max Current @ 100 VAC (Amps)	Max Current @ 200 VAC (Amps)	Max Total Power Draw ¹ (Watts)	Max Thermal Output ² (BTU/Hr)	Energy Efficiency (Watts/Gbps FDX)
FastIron LS624	0.63	0.36	63	234.3	1.16
FastIron LS648	1.35	0.66	114	388.3	1.67
FastIron LS624-STK	0.70	0.38	70	237.9	1.29
FastIron LS648-STK	1.2	0.68	118	401.2	1.72

¹ Total power drawn from the source and consumed by the switch. ² Thermal output of the switch.

WARRANTY

- 5-year Limited Lifetime Hardware Warranty
- Brocade warrants that, excluding the power supply, fan, removable optics and LED, the product hardware will be free from defects in material and workmanship that result in a material deviation from the applicable published Brocade technical specifications.
- 90-days Limited Software Warranty
- Brocade warrants that software, when used in accordance with the terms of the Brocade license, will operate substantially as set forth in the applicable Brocade Documentation following delivery of the software to licensee.

d) IP10 Ceragon

FibeAir® IP-10

56 MHz (ETSI)

Profile	Modulation	Minimum required capacity license	Number of Supported E's	Ethernet Throughput	
				Min	Max
1	QPSK	100	16	76	109
2	8 PSK	100	16	114	163
3	16 QAM	150	16	151	217
4	32 QAM	200	16	202	288
5	64 QAM	300	16	251	358
6	128 QAM	300	16	301	430
7	256 QAM	"All capacity"	16	343	490
8	256 QAM	"All capacity"	16	362	517

Note: Ethernet throughput depends on average packet size.

Transmit Power with RFU-C¹ (dBm)

Modulation	6-8 GHz	11-15 GHz	18 GHz	23-28 GHz	32-38 GHz
QPSK	26	24	22	21	18
8 PSK	26	24	22	21	18
16 QAM	25	23	21	20	17
32 QAM	24	22	20	19	16
64 QAM	24	22	20	19	16
128 QAM	24	22	20	19	16
256 QAM	22	20	18	17	14

Receiver Threshold (RSL) with RFU-C (dBm @ BER = 10⁻⁶) - continued

Profile	Modulation	Channel Spacing	Occupied Bandwidth	Frequency (GHz)			
				6-8	11-15	18-28	32-38
1	QPSK	40 MHz (ETSI/FCC)	35.6 MHz	-85.5	-85.0	-84.5	-84.0
2	8 PSK			-83.0	-82.5	-82.0	-81.5
3	16 QAM			-79.5	-79.0	-78.5	-78.0
4	32 QAM			-76.5	-76.0	-75.5	-75.0
5	64 QAM			-73.5	-73.0	-72.5	-72.0
6	128 QAM			-71.5	-71.0	-70.5	-70.0
7	256 QAM			-69.0	-68.5	-68.0	-67.5
8	256 QAM			-67.0	-66.5	-66.0	-65.5
1	QPSK	50 MHz (FCC)	44.3 MHz	-84.5	-84.0	-83.5	-83.0
2	8 PSK			-82.0	-81.5	-81.0	-80.5
3	16 QAM			-80.0	-79.5	-79.0	-78.5
4	32 QAM			-77.5	-77.0	-76.5	-76.0
5	64 QAM			-74.0	-73.5	-73.0	-72.5
6	128 QAM			-71.0	-70.5	-70.0	-69.5
7	256 QAM			-67.5	-67.0	-66.5	-66.0
8	256 QAM			-66.0	-65.5	-65.0	-64.5
1	QPSK	56 MHz (ETSI)	49.1 MHz	-84.0	-83.5	-83.0	-82.5
2	8 PSK			-81.5	-81.0	-80.5	-80.0
3	16 QAM			-79.5	-79.0	-78.5	-78.0
4	32 QAM			-76.0	-75.5	-75.0	-74.5
5	64 QAM			-73.0	-72.5	-72.0	-71.5
6	128 QAM			-70.0	-69.5	-69.0	-68.5
7	256 QAM			-67.5	-66.5	-66.0	-65.5
8	256 QAM			-65.5	-65.0	-64.5	-64.0

Note: RSL values are typical

e) Antena marca Ceragon – Nera

TECHNICAL SPECIFICATIONS - GENERAL:

Data rate: The ODU hardware supports data-rates up to 311 Mb/s. Easy upgrades by SW-licenses

Power Supply: -48(-40.5 to -57)VDC

Power Consumption (1+0):
 Terminal 6-11 GHz SP, 1+0: average 65 W
 Terminal 13-38 GHz, 1+0: average 52 W
 Terminal 5-11 GHz HP, 1+1: average 150 W

Temperature Range (operational):
 Indoor equipment: -5°C to +55°C (+23°F to +131°F)
 Outdoor equipment: -33°C to +55°C (-27°F to +131°F)

Weight and Dimensions:
 IRU (1+0/HSB): 17.5" x 8.9" x 18U / 444mm x 225mm x 441mm. Weight: 5.5 lbs / 2.5 kg
 ODU 6-11 GHz: 8.9" x 5.5" x 9.4" / 227mm x 140mm x 240mm. Weight: 17.7 lbs / 8.0 kg
 ODU 13-40 GHz: 8.1" x 5.2" x 8.3" / 206mm x 132mm x 210mm. Weight: 14.3 lbs / 6.5 kg
 All Indoor Rack: standard 19" with height = 7ft.


Max Receive Level (BER<10⁻⁶): 5-18 GHz: -17dBm, 23-40 GHz: -20dBm

Coupler Loss: Symmetrical coupler: 3.4 dB. Asymmetrical coupler: 1.5/6.5 dB

Emission Designator: [BW]M0D7W. Example: 29GHz in a 50MHz ch, EM=50M0D7W (BW figures from tables above)

Antenna Interfaces – Split Mount:

Frequency band [GHz]:	5	L6/U6	7/8	10/11	18/23	39
Diplexer- and HSB-Coupler- Interface	Coaxial (N-connector)	PDR70	CBR84	CBR100	CBR220	CBR320
Matching Flanges/Interface	N-female connector	PDR70 / C PR137C	UBR84 or PBR84	UBR100 or PBR100	UBR220 or PBR220	UBR320 or PBR320



Antenna Feeder Interfaces – All Indoor:

Frequency band [GHz]:	5	L6/U6	7/8	10/11
Branching Interface to Antenna-Feeder	PDR48	PDR70	PDR84	PDR100
Matching Flanges	PDR48 / CPR187C	PDR70 / C PR137C	PDR84 / CPR12C	PDR100 / C PR90C
Matching Waveguide	R48 / WR187	R70 / WR137	R84 / WR112	R100 / WR90

ANTENNAS – Integrated and Detached:

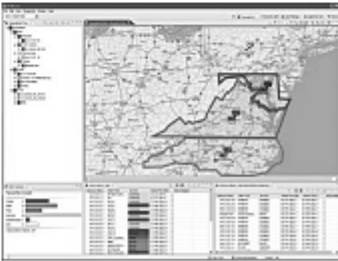
FREQUENCY BAND [GHz]:	5-9.6-g	7-18.5	10.7-11.7	17.7-19.7	21.2-23.6	37.0-40.0
Antenna Gain (centre) [dB]	1ft	-	-	-	34.0	40.1
	2ft	-	30.7	37.4 (2.5ft)	38.7	45.2
	3ft	-	33.9	-	41.0	-
	4ft	-	37.3	40.4	44.5	-
	6ft	39.4 (6.5ft)	40.8	43.6	47.8	-
	8ft /10ft	41.4 / 43.3	-	-	-	-

RADIO NETWORK MANAGEMENT

NetMaster is the Network Manager tailored for all Nera equipment. This is an optional tool for monitoring and control of equipment and traffic performance.

Highlights:

- Java based Client/Server solution
- Scalable based on licenses per network element
- SNMP is used between the NetMaster Server and the Elements
- Network grouping in geographical and/or logical areas
- SNMP Northbound interface for higher level network managers
- Report Generator
- Software upgrade scheduler (for the Elements)
- User friendly GUI based on Eclipse rich client platform



Nera Inc.
 1303 E. Apache Road, Suite # 202
 75081 Richardson, TX 75081

Tel: +1 972 265 8118

Internet: www.neraworld.com
 Email: sales_nat@neraworld.com

7.2.2. Tablas de resultados

Tabla 7.1 Ubicación geográfica de las subestaciones eléctricas restantes

Subestaciones	Ubicación - NORTE	Ubicación - OESTE
La Caja	9°57'53,56	84°9'57,21
Leesville	10°15'43,70	83°45'19,51
Liberia	10°36'54,48	85°26'45,00
Lindora	9°57'34,69	84°12'46,09
Miravalles	10°42'10,4	85°11'42,8
Moín	9°59'34,43	83°6'2,29
Naranjo	10°05'19,3	84°22'23,7
Nuevo Colon	10°30'26,13	85°42'53,79
Papagayo	10°39'48,6	85°36'30,9
Parrita	9°33'21,6	84°13'49,6
Peñas Blancas	10°23'28,99	84°34'30,33
Pirris	9°37'54,64	84°11'53,96
Poas	10°01'44,4	84°17'19,2
Rio Claro	8°41'11,0	83°04'15,9
Rio Macho	9°46'32,64	83°50'28,89
Sabanilla	9°56'51,61	84°2'34,49
San Isidro	9°21'41,96	83°40'50,49
San Miguel	9°58'48,48	84°3'18,12
Sandillal	10°27'55,04	85°6'11,69
Santa Rita	10°1'53,56	85°15'57,67
Siquirres	10°6'16,06	83°27'14,62
Tarbacá	9°49'48,85	84°7'2,19
Toro	10°16'34,9	84°15'34,9
Trapiche	10°5'57,41	83°31'35,54
Turrialba	9°53'46,58	83°40'23,56

CAPÍTULO 7 – APÉNDICES

Tabla 7.2 Bits recibidos y transmitidos durante el periodo de muestreo de los días 4, 5 y 6.

Ubicación Router	95% día 4		95% día 5		95% día 6	
	Recibido (Mbps)	Transmitido (Mbps)	Recibido (Mbps)	Transmitido (Mbps)	Recibido (Mbps)	Transmitido (Mbps)
Caja UENPE	8,1397	0,3885	8,6486	0,8692	11,2518	2,1306
Cariblanco UENPE	0,4353	6,891	0,5169	2,827	15,5343	4,3154
Rio Macho UENPE	2,1956	5,5225	1,2761	4,0004	1,0041	3,1902
Tanque UENPE	2,7061	4,9674	3,2606	2,9073	5,5954	5,0686
Toro UENPE	5,871	3,1292	1,2059	1,448	5,0166	15,2156
Mínimo	0,4353	0,3885	0,5169	0,8692	1,0041	2,1306
Máximo	8,1397	6,891	8,6486	4,0004	15,5343	15,2156

Tabla 7.3 Máximos de recibidos y transmitidos durante el periodo de muestreo de los días 4, 5 y 6.

Ubicación Router	Máximo día 4		Valor Máximo día 5		Valor Máximo día 6	
	Recibido (Mbps)	Transmitido (Mbps)	Recibido (Mbps)	Transmitido (Mbps)	Recibido (Mbps)	Transmitido (Mbps)
Caja UENPE	14	1	16	6	29	4
Cariblanco UENPE	2	24	4	24	20	8
Rio Macho UENPE	3	8	3	11	2	24
Tanque UENPE	9	7	6	4	12	20
Toro UENPE	14	6	2,8	3	8	20
Mínimo	2	1	2,8	3	2	4
Máximo	14	24	16	24	29	24

CAPÍTULO 7 – APÉNDICES

Tabla 7.4 Ubicación de las agencias correspondientes a la región Chorotega en coordenadas geográficas

Regiones	Agencias Eléctricas	Provincia	Cantón	Distrito	Latitud	Longitud
Región Chorotega	Nuevo Arenal	Guanacaste	Tilarán	Arenal	10°32'45.40"N	84°54'01.80"O
Región Chorotega	Coyote (San Francis.)	Guanacaste	Nandayure	Bejuco	9°48'09.55"N	85°14'34.37"O
Región Chorotega	Nandayure	Guanacaste	Nandayure	Carmona	9°59'47.50"N	85°15'15.70"O
Región Chorotega	Nosara	Guanacaste	Nicoya	Nosara	9°58'10.00"N	85°38'59.70"O
Región Chorotega	Santa Elena	Puntarenas	Puntarenas	Monte Verde	10°19'13.97"N	84°49'23.74"O
Región Chorotega	Sámara	Guanacaste	Nicoya	Sámara	9°52'58.22"N	85°31'44.58"O
Región Chorotega	Guayabo	Guanacaste	Bagaces	Mogote	10°42'34.50"N	85°13'38.50"O
Región Chorotega	Bagaces	Guanacaste	Bagaces	Bagaces	10°31'44.00"N	85°15'24.60"O
Región Chorotega	La Cruz	Guanacaste	La Cruz	La Cruz	11°04'19.19"N	85°38'00.30"O
Región Chorotega	Cóbano	Puntarenas	Puntarenas	Cóbano	9°41'07.70"N	85°06'20.00"O
Región Chorotega	Los Chiles	Alajuela	Los Chiles	Los Chiles	11°01'32.10"N	84°43'01.50"O
Región Chorotega	Guatuso	Alajuela	Guatuso	San Rafael	10°40'24.60"N	84°49'17.60"O
Región Chorotega	Las Juntas	Guanacaste	Abangares	Las Juntas	10°16'55.22"N	84°57'30.77"O
Región Chorotega	Tilarán	Guanacaste	Tilarán	Tilarán	10°28'21.66"N	84°57'58.86"O
Región Chorotega	Upala	Alajuela	Upala	Upala	10°54'02.90"N	85°00'58.00"O
Región Chorotega	Cañas	Guanacaste	Cañas	Cañas	10°25'42.78"N	85°06'03.11"O
Región Chorotega	Liberia	Guanacaste	Liberia	Liberia	10°37'58.74"N	85°26'34.16"O

CAPÍTULO 7 – APÉNDICES

Tabla 7.5 Ubicación de las agencias correspondientes a la región Brunca en coordenadas geográficas

Regiones	Agencias Eléctricas	Provincia	Cantón	Distrito	Latitud	Longitud
Región Brunca Río Claro	Agua Buena	Puntarenas	Coto Brus	Agua Buena	8°44'51.10"N	82°56'25.66"O
Región Brunca Río Claro	Ciudad Cortés	Puntarenas	Osa	Ciudad Cortés	8°57'37.30"N	83°31'37.66"O
Región Brunca Río Claro	Puerto Jiménez	Puntarenas	Golfito	Puerto Jiménez	8°32'15.09"N	83°18'25.66"O
Región Brunca Río Claro	Laurel	Puntarenas	Corredores	Laurel	8°26'33,20"N	82°54'28.40"O
Región Brunca Río Claro	Paso Canoas	Puntarenas	Corredores	Canoas	8°31'59,00"N	82°50'25.40"O
Región Brunca Río Claro	Palmar Norte	Puntarenas	Osa	Palmar Norte	8°57'46.80"N	83°27'19.40"O
Región Brunca Río Claro	Río Claro	Puntarenas	Golfito	Guaycará	8°40'38.90"N	83°03'55.50"O
Región Brunca Río Claro	Golfito	Puntarenas	Golfito	Golfito	8°38'42.86"N	83°10'20.21"O
Región Brunca Río Claro	Ciudad Neily	Puntarenas	Corredores	Corredor	8°38'55.56"N	82°56'32.98"O
Región Brunca Río Claro	San Vito	Puntarenas	Coto Brus	San Vito	8°49'10.40"N	82°58'22.80"O
Región Brunca San Isidro	San Pedro	San José	Pérez Zeledón	San Pedro	9°16'52.20"N	83°33'07.70"O
Región Brunca San Isidro	Dominical	Puntarenas	Osa	Bahía Ballena	9°15'15.70"N	83°51'57.90"O
Región Brunca San Isidro	Pejibaye	San José	Pérez Zeledón	Pejibaye	9°09'32.90"N	83°34'37.80"O
Región Brunca San Isidro	Buenos Aires	Puntarenas	Buenos Aires	Buenos Aires	9°10'04.90"N	83°20'0.37"O
Región Brunca San Isidro	Los Chiles P.Z.	San José	Pérez Zeledón	San Isidro del General	9°21'44.70"N	83°40'57.60"O
Región Brunca San Isidro	San Isidro	San José	Pérez Zeledón	San Isidro del General	9°22'40.95"N	83°42'13.74"O

CAPÍTULO 7 – APÉNDICES

Tabla 7.6 Ubicación de las agencias correspondientes a la región Huetar en coordenadas geográficas

Regiones	Agencias Eléctricas	Provincia	Cantón	Distrito	Latitud	Longitud
Región Huetar Atlántico	Guácimo	Limón	Guácimo	Guácimo	10°12'47.10"N	83°40'58.60"O
Región Huetar Atlántico	Tortuguero	Limón	Pococí	Colorado	10°32'35.90"N	83°30'20.30"O
Región Huetar Atlántico	Valle La Estrella	Limón	Limón	Valle La Estrella	10°43'51.20"N	82°59'47.40"O
Región Huetar Atlántico	Ticabán	Limón	Pococí	Rita	10°23'35.40"N	83°48'13.80"O
Región Huetar Atlántico	Bribri	Limón	Talamanca	Bratzi	9°37'31.10"N	82°51'23.00"O
Región Huetar Atlántico	Río Frío	Heredia	Sarapiquí	Las Horquetas	10°19'14.50"N	83°53'25.10"O
Región Huetar Atlántico	Cariari	Limón	Pococí	Cariari	10°21'45.80"N	83°44'12.70"O
Región Huetar Atlántico	Batán	Limón	Matina	Batán	10°05'05.20"N	83°20'45.90"O
Región Huetar Atlántico	Siquirres	Limón	Siquirres	Siquirres	10°05'49.99"N	83°30'24.38"O
Región Huetar Atlántico	Limón	Limón	Limón	Limón	9°59'58.39"N	83°01'37.10"O
Región Huetar Atlántico	Guápiles	Limón	Pococí	Guápiles	10°12'54.84"N	83°46'57.02"O
Región Huetar Turrialba	Juan Viñas	Cartago	Jiménez	Juan Viñas	9°53'36.23"N	83°44'44.76"O
Región Huetar Turrialba	Cartago	Cartago	Cartago	Occidental	9°51'48.90"N	83°55'04.83"O
Región Huetar Turrialba	Turrialba	Cartago	Turrialba	Turrialba	9°54'11.92"N	83°41'03.94"O