



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

### **ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**“DISEÑO DE SERVICIO DE TELECOMUNICACIONES PARA LA POBLACIÓN DE POMPEYA, UTILIZANDO EL ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE UN ENLACE DE TRANSMISIÓN VÍA FIBRA ÓPTICA Y UN ENLACE VÍA MICROONDA”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa la obtención del título de**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN**

**Presentado por:**

**LAURA ISABEL MACAS CANDO**

**EDISON EDGAR CARTAGENA SILVA**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2010**

### **A DIOS, NUESTROS PADRES Y HERMANOS**

A Dios porque con su sabiduría ha sabido guiar nuestros pasos cada día, a nuestros Padres y Hermanos por constituirse en soporte fundamental de nuestra vida, por todo su apoyo, esfuerzo, dedicación, confianza y amor desmesurado. A ellos este trabajo.

### **A LA EMPRESA CNT S.A. CHIMBORAZO**

Por su completa y total apertura para permitirnos elaborar el proyecto así como por todo el apoyo técnico y humano brindado a lo largo del desarrollo del mismo.

### **AL ING. HUGO MORENO A.**

Director de Tesis, por su inquebrantable y pertinaz colaboración para con nosotros, así como a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería en Electrónica quienes nos han transmitido sus conocimientos a lo largo de nuestra carrera.

### **A NUESTRAS FAMILIAS**

El presente documento va dedicado con respeto, cariño y gratitud a nuestros PADRES y HERMANOS.

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Iván Menes

**DECANO DE LA FACULTAD DE  
INFORMATICA Y ELECTRÓNICA**

.....

.....

Ing. José Guerra

**DIRECTOR DE ESCUELA DE  
INGENIERIA ELECTRÓNICA  
EN TELECOMUNICACIONES  
Y REDES**

.....

.....

Ing. Hugo Moreno

**DIRECTOR DE TESIS**

.....

.....

Ing. Marcelo Donoso

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

.....

.....

Lcdo. Carlos Rodríguez

**DIRECTOR CENTRO  
DOCUMENTACIÓN**

.....

.....

**NOTA DE LA TESIS**

.....

“Nosotros Laura Isabel Macas Cando y Edison Edgar Cartagena Silva, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis; y, el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

---

Laura Isabel Macas Cando

---

Edison Edgar Cartagena Silva

## **ÍNDICE GENERAL**

**PORTADA**

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**FIRMAS DE RESPONSABILIDAD**

**RESPONSABILIDAD DEL AUTOR**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **CAPÍTULO I**

GENERALIDADES

1.1	FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO DE TESIS -----	16
1.1.1	Entidad Responsable -----	16
1.1.2	Políticas del Plan Nacional de Desarrollo 2007-2010 de la CNT S.A. -----	16
1.1.3	Misión de la empresa CNT S.A. -----	17
1.1.4	Visión de la empresa CNT S.A. -----	17

#### **CAPÍTULO II**

MARCO TEÓRICO

2.1	LAS TELECOMUNICACIONES -----	18
2.1.1	Introducción a las Telecomunicaciones -----	18
2.1.2	Elementos de las Telecomunicaciones -----	19
2.2	SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICOS -----	20
2.2.1	Radiocomunicaciones por Microonda -----	21
2.2.2	Radioenlace Fijo Terrestre -----	21
2.2.2.1	Espectro Electromagnético -----	21
2.2.2.2	Propagación de las Ondas Electromagnéticas -----	22
2.2.2.3	Polarización electromagnética -----	23
2.2.2.4	Radiación electromagnética -----	23
2.2.2.5	Propiedades ópticas de las ondas de radio -----	25
2.2.2.6	Propagación de las ondas electromagnéticas -----	26

2.2.2.7	Antenas	28
2.2.2.8	Características de la trayectoria del radioenlace	31
2.2.2.9	Ganancia del sistema	32
2.3	SISTEMAS DE COMUNICACIÓN ÓPTICOS	39
2.3.1	Principios Físicos	39
2.3.2	Componentes de la Fibra Óptica	39
2.3.3	Espectro Óptico	40
2.3.4	Reflexión y Refracción en Señales Ópticas	41
2.3.4.1	Reflexión	41
2.3.4.2	Refracción	41
2.3.4.3	Reflexión Interna Total y Ángulo Crítico	42
2.3.4.4	Ángulo de aceptación	43
2.3.4.5	Apertura numérica	44
2.3.5	Tipos de Fibra Óptica	45
2.3.5.1	Fibra Óptica Multimodo	45
2.3.5.2	Fibra Óptica Monomodo	46
2.3.6	Atenuación en los Sistemas de Transmisión Ópticos	46
2.3.7	Pérdidas en Sistemas Ópticos	47
2.3.7.1	Pérdidas Intrínsecas a la Fibra	47
2.3.7.2	Pérdidas Extrínsecas a la Fibra	48
2.3.8	Ventanas de Transmisión para la Fibra Óptica	49
2.3.9	Dispersión en Sistemas de Transmisión Ópticos	50
2.3.9.1	Dispersión Modal	50
2.3.9.2	Dispersión Cromática	50
2.3.9.3	Dispersión por Modo de Polarización	51
2.3.10	Elementos de un Sistema de Transmisión Óptico	51
2.3.10.1	Transmisores Ópticos	52
2.3.10.2	Receptores Ópticos	52
2.3.11	Ventajas de la Fibra Óptica en Sistemas de Comunicación	53
2.3.12	Desventajas de la Fibra Óptica en Sistemas de Comunicación	53

### **CAPÍTULO III**

#### ESTUDIO DE MERCADO Y COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

3.1	ASPECTOS GENERALES	54
3.2	SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES	55

3.2.1	Servicios básicos-----	55
3.2.2	Servicios adicionales -----	55
3.2.3	Servicios suplementarios-----	55
3.2.4	Servicios de plataforma inteligente -----	56
3.2.5	Servicios de plataforma de correo de voz -----	56
3.2.6	Servicios de avanzada-----	56
3.2.7	Servicios empresariales-----	57
3.3	CARACTERÍSTICAS DEL SERVICIO-----	57
3.4	ANÁLISIS DE LA OFERTA Y DEMANDA -----	58
3.4.1	Cuestionario 1-----	59
3.4.2	Cuestionario 2-----	66
3.5	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS -----	70
3.6	COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS Y COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS -----	71
3.6.1	Sistema Hipotético-----	72
3.6.1.1	Hipótesis de la investigación -----	72
3.6.1.2	Operacionalización de las variables -----	72
3.6.1.3	Operacionalización metodológica -----	73
3.6.1.4	Descripción de las variables y sus respectivos indicadores -----	74
3.6.2	Estudio comparativo -----	76
3.6.2.1	Población y Muestra -----	76
3.6.2.2	Estudio comparativo de la variable independiente -----	76
3.6.2.3	Estudio comparativo de la variable dependiente -----	78
3.6.2.4	Puntajes totales -----	82
3.6.3	Comprobación de la Hipótesis-----	83
3.7	ANÁLISIS DE COMERCIALIZACIÓN -----	87

## **CAPITULO IV**

### DISEÑO DE LA RED DE COMUNICACIÓN CON FIBRA ÓPTICA Y MICROONDAS

4.1	ANÁLISIS Y PROYECCIÓN DEL TRÁFICO-----	89
4.2	DISEÑO DE LA RED USANDO ENLACE DE MICROONDAS -----	91
4.2.1	Radio Mobile -----	91
4.2.1.1	Características del software Radio Mobile -----	91
4.2.1.2	Modelo de propagación -----	92
4.2.2	Estudio y Diseño del Radioenlace-----	92

4.2.2.1	Análisis geográfico y características del terreno de los puntos a enlazar-----	93
4.2.2.2	Cálculos de propagación y simulación del enlace en Radio Mobile -----	94
4.3	DISEÑO DE LA RED USANDO ENLACE DE FIBRA ÓPTICA. -----	99
4.3.1	Criterios para el Diseño del enlace vía Fibra Óptica -----	99
4.3.2	Diseño del enlace Licto - Pompeya -----	100
4.3.2.1	Ubicación geográfica -----	100
4.3.2.2	Selección de la ruta y análisis del tipo de cable a utilizar -----	100
4.3.2.3	Requerimientos del enlace de fibra óptica-----	102
4.3.2.4	Determinación de los parámetros técnicos de los equipos-----	103
4.3.2.5	Cálculos generales para el enlace de fibra óptica -----	105

## **CAPITULO V**

### **ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA**

5.1	COSTO TOTAL DEL PROYECTO VIA FIBRA OPTICA -----	109
5.1.1	Determinación de Volúmenes de Obra para el enlace de fibra óptica -----	109
5.1.2	Costos de ingeniería-----	111
5.1.3	Costo Definitivo del enlace con fibra óptica -----	111
5.2	COSTO TOTAL DEL PROYECTO VIA MICROONDAS-----	112
5.3	COSTO DE LOS EQUIPOS A UTILIZAR EN EL NODO (CENTRAL) DE POMPEYA -----	112
5.4	CORRELACIÓN DE COSTOS DE LAS ALTERNATIVAS DE ENLACE PARA EL SERVICIO DE TELECOMUNICACIONES DE POMPEYA (FIBRA ÓPTICA vs MICROONDAS)-----	113

## **CONCLUSIONES**

## **RECOMENDACIONES**

## **RESUMEN**

## **SUMMARY**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II-1: Sistema de comunicación eléctrico-----	19
Figura II-2: Espectro electromagnético. -----	22
Figura II-3: Onda electromagnética y sus componentes. -----	22
Figura II-4: Fenómeno de difracción-----	26
Figura II-5: Propagación de ondas terrestres -----	27
Figura II-6: Propagación por línea de vista -----	27
Figura II-7: Propagación por ondas celestes-----	28
Figura II-8: Antena de microonda -----	28
Figura II-9: Patrón de radiación de una antena parabólica -----	29
Figura II-10: Fibra óptica. -----	39
Figura II-11: Componentes de una fibra óptica -----	39
Figura II-12: Reflexión de señales ópticas -----	41
Figura II-13: Refracción de señales ópticas. -----	42
Figura II-14: Reflexión interna total -----	43
Figura II-15: Ángulo de aceptación.-----	44
Figura II-16: Ventanas de transmisión para la fibra óptica-----	49
Figura II-17: Sistema de Transmisión Óptico-----	51
Figura III-18: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 1, cuestionario 1. -	59
Figura III-19: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 2, cuestionario 1. -	61
Figura III-20: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 3, cuestionario1. --	62
Figura III-21: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 4, cuestionario 1. -	63
Figura III-22: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 5, cuestionario 1. -	64
Figura III-23: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 6, cuestionario 1. -	65
Figura III-24: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 1, cuestionario 2. -	66
Figura III-25: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 2, cuestionario 2. -	67
Figura III-26: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 3, cuestionario 2.-	68
Figura III-27: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 4, cuestionario 2. -	69
Figura III-28: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 5, cuestionario 2. -	70
Figura III-29: Representación gráfica de la Tabla III-26.-----	77
Figura III-30: Representación gráfica de la Tabla III-27.-----	78
Figura III-31: Representación gráfica de la Tabla III-28.-----	79

<b>Figura III-32: Representación gráfica de la Tabla III-29.</b> -----	<b>80</b>
<b>Figura III-33: Representación gráfica de la Tabla III-30.</b> -----	<b>80</b>
<b>Figura III-34: Representación gráfica de la Tabla III-31.</b> -----	<b>81</b>
<b>Figura III-35: Gráfico chi cuadrado.</b> -----	<b>87</b>
<b>Gráfico III-36: Diagrama de comercialización de CNT S.A.</b> -----	<b>87</b>
<b>Figura IV-37: Topográfica para el enlace Pompeya-La Mira.</b> -----	<b>93</b>
<b>Figura IV-39: Longitud del vano entre la Mira y Pompeya</b> -----	<b>95</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II-1: Valores para el factor de rigurosidad -----	34
Tabla II-2: Factor de conversión de peor probabilidad mensual a una probabilidad anual	34
Tabla II-3: Pérdidas en alimentador de guía de onda y pérdidas por ramificación -----	38
Tabla II-4: Ganancia en las antenas según su longitud y frecuencia de operación. -----	38
Tabla II-5: Pérdidas por absorción y por efecto Rayleigh -----	48
Tabla II-6: Cuadro comparativo de las características de las fuentes LED y LASER. -----	52
Tabla III-7: Tamaño de la población objeto del estudio.-----	58
Tabla III-8: Resultados Pregunta 1, cuestionario 1. -----	59
Tabla III-9: Resultados Pregunta 2, cuestionario 1. -----	61
Tabla III-10: Resultados Pregunta 3, cuestionario 1.-----	62
Tabla III-11: Resultados Pregunta 4, cuestionario 1.-----	63
Tabla III-12: Resultados Pregunta 5, cuestionario 1.-----	64
Tabla III-13: Resultados Pregunta 6, cuestionario 1.-----	65
Tabla III-14: Resultados Pregunta 1, cuestionario 2.-----	66
Tabla III-15: Resultados Pregunta 2, cuestionario 2.-----	67
Tabla III-16: Resultados Pregunta 3, cuestionario 2.-----	68
Tabla III-17: Resultados Pregunta 4, cuestionario 2.-----	68
Tabla III-18: Resultados Pregunta 5, cuestionario 2.-----	69
Tabla III-19: Demanda para telefonía (voz) e internet (datos) en el sector de Pompeya. --	71
Tabla III-20: Operacionalización conceptual de las variables.-----	72
Tabla III-21: Operacionalización Metodológica de la variable independiente. -----	73
Tabla III-22: Operacionalización Metodológica de la variable dependiente CONFIABILIDAD. -----	73
Tabla III-23: Operacionalización Metodológica de la variable dependiente TOPOLOGIA. -	73
Tabla III-24: Operacionalización Metodológica de la variable dependiente ESCALABILIDAD. -----	74
Tabla III-25: Asignación de equivalencias para la ponderación. -----	76
Tabla III-26: Ponderación de costos. -----	77
Tabla III-27: Ponderación del Ancho de banda. -----	77
Tabla III-28: Ponderación del nivel de Seguridad Alto.-----	78
Tabla III-29: Ponderación considerando la Topología Punto a Punto. -----	79

<b>Tabla III-30: Ponderación considerando la Topología Multipunto.</b> -----	<b>80</b>
<b>Tabla III-31: Ponderación considerando niveles de escalabilidad alta.</b> -----	<b>81</b>
<b>Tabla III-32: Tabla General de Resultados.</b> -----	<b>82</b>
<b>Tabla III-33: Frecuencias observadas(Tabla de contingencia).</b> -----	<b>84</b>
<b>Tabla III-34: Frecuencias esperadas.</b> -----	<b>84</b>
<b>Tabla III-35: Calculo de Chi Cuadrado</b> -----	<b>85</b>
<b>Tabla IV-36: Número de canales y tráfico generado para cada población.</b> -----	<b>91</b>
<b>Tabla IV-37: Especificaciones de diseño.</b> -----	<b>95</b>
<b>Tabla IV-38: Margen de desvanecimiento y porcentajes de confiabilidad.</b> -----	<b>97</b>
<b>Tabla IV-39: Comparación entre cables ADSS, OPGW y Figura 8.</b> -----	<b>102</b>
<b>Tabla IV-40: Especificaciones técnicas para el interfaz óptico P1S1-1D1.</b> -----	<b>104</b>
<b>Tabla IV-41: Potencia recibida y Ancho de banda del enlace.</b> -----	<b>107</b>
<b>Tabla V-42: Costos de inversión en el enlace que constituye el sistema de Fibra Óptica.</b>	<b>110</b>
<b>Tabla V-43: Costos de Ingeniería.</b> -----	<b>111</b>
<b>Tabla V-44: Costos definitivo del enlace con fibra óptica.</b> -----	<b>111</b>
<b>Tabla V-45: Costo Total del Proyecto utilizando como medio de transmisión la microonda.</b> -----	<b>112</b>
<b>Tabla V-46: Costos de equipos a ubicarse en el nodo Pompeya.</b> -----	<b>112</b>
<b>Tabla V-47: Costos Finales de cada enlace del proyecto Pompeya.</b> -----	<b>113</b>

## INTRODUCCIÓN

Las nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) y en general de las telecomunicaciones han pasado a constituirse pilares primordiales en el desarrollo económico y social de un país, pues contribuyen a incrementar la eficiencia de la administración, de la educación, de la salud, de los procesos de producción, la industria y el comercio. El no poder acceder a nuevas alternativas de Telecomunicaciones que no son consideradas como servicios básicos hasta ahora, como lo es el internet, pero que tienen una gran repercusión en el convivir global de las nuevas generaciones, hace aún más complejo y difícil lograr la universalización de las telecomunicaciones.

Hasta hace poco pensar en proyectos de telecomunicaciones para el sector rural era prácticamente imposible debido a los altos costos de inversión en equipos, insuficiente demanda y elevados costos de operación que acarreaban. Pero, es en estas zonas aisladas donde estos servicios son de extrema utilidad, no solo por contribuir al desarrollo económico de la región asistida o mejorar el nivel de vida de su población sino más bien porque facilita la solución de problemas sociales de un alto grado de trascendencia.

La población rural de la provincia de Chimborazo, Pompeya en forma particular, no ha sido la excepción en cuanto a estar desatendida de servicios de telefonía e internet, debiendo sus habitantes incurrir en elevados costos por concepto de tiempo y otros recursos para comunicarse con el resto del país, además como es de suponerse debe utilizar en algunos casos medios alternativos como el de telefonía móvil lo cual conlleva costos adicionales en comparación a los de telefonía fija. Acorde a lo estipulado en el Plan Nacional de Conectividad vigente en el Ecuador, el servicio universal de las telecomunicaciones (*“toda persona tiene derecho de acceder por lo menos a un servicio básico de telecomunicaciones”*) permitirá romper las barreras de acceso a las TIC. La creación del Fondo de Desarrollo de las Telecomunicaciones en Áreas Rurales y Urbano Marginales (FODETEL), cuya finalidad exclusiva es financiar proyectos que permitan dotar de servicios básicos de telecomunicaciones a las áreas rurales y urbano marginales del país, ha venido a constituirse en el gran paso que da luz y esperanza a todos los pueblos del país que han sido marginados por décadas.

Además de la atención del Gobierno para con el sector rural en el área de las telecomunicaciones, la aparición y en algunos casos renovación de tecnologías en dicho sector trae consigo la reducción de brechas en el área técnica y económica de los servicios de telefonía, permitiendo en la actualidad suministrar los servicios de telecomunicaciones a zonas recónditas de difícil acceso y a costos relativamente pequeños. En la actualidad la tecnología digital se encuentra en auge debido a sus grandes prestaciones; conocedores de ésta realidad y pensando a futuro, CNT S.A. también se inclina por la migración e implementación de nuevos sistemas de telecomunicaciones digitales, los mismos que utilizan diversos medios de transmisión como microondas, fibra óptica, etc.

Por lo antes expuesto el presente trabajo se centra justamente en el estudio de dos métodos de enlace y su aplicación a la resolución de un problema práctico, uno de ellos usa como medio de transmisión las microondas (enlace entre la repetidora la Mira y Pompeya) y mientras que el otro método utiliza como medio de transmisión la fibra óptica (enlace entre el nodo Licto y Pompeya) cuyas características permite en la actualidad brindar servicios de avanzada que oferta CNT S.A.

El presente proyecto de titulación, ha sido desarrollado con la finalidad de brindar la mejor alternativa del enlace de comunicación requerido por CNT S.A. CHIMBORAZO para la implementación del Proyecto de Telefonía Rural en el sector de Pompeya cumpliendo normas técnicas y de calidad vigentes, garantizando así la integración del nuevo enlace a la red existente de una manera óptima.

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO DE TESIS**

#### **1.1.1 Entidad Responsable**

La entidad responsable de llevar a cabo la implementación de éste proyecto será la CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES S.A. SUCURSAL CHIMBORAZO.

#### **1.1.2 Políticas del Plan Nacional de Desarrollo 2007-2010 de la CNT S.A.**

- Promover el acceso a la información y a las nuevas tecnologías de la información y comunicación para fortalecer el ejercicio de la ciudadanía.
- Expandir y fomentar la accesibilidad a los servicios de telecomunicaciones y conectividad para constituirlos en herramientas de mejoramiento de la calidad de vida y de incorporación de la población a la sociedad de la información.

- Garantizar a la sociedad ecuatoriana que los servicios de telecomunicaciones sean eficientes, efectivos, competitivos y orientados a lograr el bien común con especial énfasis en la equidad.

### **1.1.3 Misión de la empresa CNT S.A.**

La CNT es una empresa integradora de servicios de telecomunicaciones que utiliza tecnología de convergencia de voz, video y datos. Cubre el mercado nacional con el mejor servicio al cliente, precios competitivos, variedad de productos, con un personal comprometido con los valores corporativos.

### **1.1.4 Visión de la empresa CNT S.A.**

Ser reconocida como líder indiscutible en las telecomunicaciones del Ecuador, satisfaciendo competitivamente las necesidades y expectativas de sus clientes, con productos y servicios de calidad medidos con estándares mundiales.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

El presente capítulo contiene la descripción del mundo de las telecomunicaciones y sus fundamentos básicos sobre los que se cimienta la transmisión de datos usando tecnología inalámbrica y tecnología con fibra óptica.

#### **2.1 LAS TELECOMUNICACIONES**

##### **2.1.1 Introducción a las Telecomunicaciones**

La telecomunicación es una técnica que consiste en transmitir un mensaje desde un punto a otro, normalmente con el atributo típico adicional de ser bidireccional. El término *telecomunicación* cubre todas las formas de comunicación a distancia, incluyendo radio, telegrafía, televisión, telefonía, transmisión de datos e interconexión de computadoras a nivel de enlace.

También se considera como *telecomunicaciones*, a toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, datos, imágenes, voz, sonidos o información de cualquier naturaleza que se

efectúa a través de cables, radioelectricidad, medios ópticos, físicos u otros sistemas electromagnéticos.

Las comunicaciones eléctricas (ver **Figura II-1**) son en esencia, la transmisión, recepción y procesamientos de información usando circuitos electrónicos. La información se define como el conocimiento, la sabiduría o la realidad y puede ser en forma analógica (proporcional o continua), tal como la voz humana, información sobre una imagen de video, música, o en forma digital (etapas discretas), tales como números codificados en binario, códigos alfanuméricos, símbolos gráficos códigos operacionales del microprocesador o información de base de datos. Toda la información debe convertirse en energía electromagnética, antes de que pueda propagarse por un sistema de comunicación eléctrica.



**Figura II-1: Sistema de comunicación eléctrico**

### 2.1.2 Elementos de las Telecomunicaciones

Los elementos que integran un sistema de telecomunicaciones son:

- Transmisor, es el dispositivo que transforma o codifica los mensajes en un fenómeno físico (la señal).
- Línea o Medio De Transmisión, es el medio físico por donde han de pasar los datos o señales.
- Canal de comunicación, es el medio lógico o lugar por donde circula la información representada en forma de ceros y unos.
- Receptor, es el elemento capaz de recuperar la información dentro de ciertos límites de degradación de la señal debiendo tener para ello un mecanismo de decodificación.

La telecomunicación puede ser punto a punto (uno a uno), punto a multipunto (uno a varios) o teledifusión, que es una forma particular de punto a multipunto que funciona solamente desde el transmisor a los receptores, siendo su versión más popular la radiodifusión.

## **2.2 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICOS**

Los sistemas de comunicación inalámbricos son aquellos en los cuales sus extremos (receptor/emisor) no se encuentran unidos por un medio de propagación físico, sino que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio. En éste sentido, los dispositivos físicos solo están presentes en los emisores y receptores de la señal.

Los sistemas de comunicación inalámbricos se fundamentan en las ondas electromagnéticas, ondas capaces de viajar por el espacio y con la facultad de reflejarse del mismo modo que al haz de luz de una linterna enfocada sobre un espejo, así las señales rebotan de repetidor en repetidor, o sobre un satélite y son capaces de recorrer miles de kilómetros.

Los sistemas de comunicación inalámbricos generalmente se encuentran constituidos por los siguientes elementos:

- Emisor de radiofrecuencia, encargada de generar la información a transmitir.
- Antena emisora, se encarga de transmitir la señal modulada (por el emisor) y difundirla en el espacio.
- Estaciones repetidoras, usadas para regenerar la señal cuando existen distancias muy considerables.
- Antena receptora, se encarga de recoger las ondas electromagnéticas y enviar la señal al receptor.
- Receptor de radiofrecuencia, se encarga de demodular y reconstruir la información transmitida.

Las transmisiones inalámbricas ofrecen múltiples opciones para el transporte de la información, en éste documento se hace una descripción por objeto de estudio de la transmisión vía microonda a través de un radioenlace fijo.

### **2.2.1 Radiocomunicaciones por Microonda**

Se denominan microondas a ondas electromagnéticas con frecuencias que van aproximadamente desde los 500 MHz hasta poco más de los 300 GHz. Al operar en frecuencias altas, el tamaño de la ventana va a ser pequeño.

Estos sistemas usan transmisión por línea de vista, por lo que es sensible a deterioros o agentes externos que pueden interrumpir el servicio por lo cual se introduce el concepto de *diversidad*<sup>1</sup>.

### **2.2.2 Radioenlace Fijo Terrestre**

Se denomina radio-enlace fijo terrestre a cualquier interconexión por ondas electromagnéticas entre terminales de telecomunicaciones situados en puntos fijos sobre la superficie de la tierra, que proporcionan una capacidad de información, con características de calidad y disponibilidad determinadas. Típicamente utilizan las frecuencias entre los 800 MHz a 42 GHz.

Establecen un concepto de comunicación del tipo dúplex, debiendo transmitir dos portadoras moduladas: una para la transmisión y otra para la recepción. Al par de frecuencias asignadas para la transmisión y recepción de señales, se la denomina radio canal.

La energía electromagnética se distribuye en un rango de frecuencias llamado espectro electromagnético.

#### **2.2.2.1 Espectro Electromagnético**

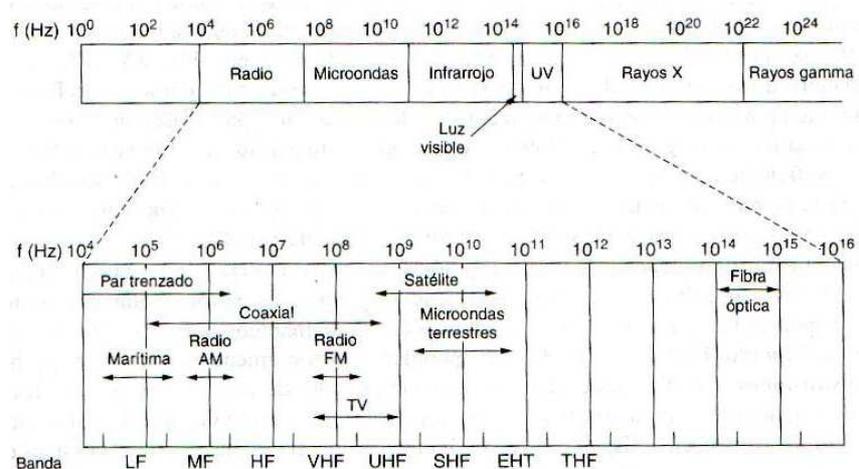
Aquí se establecen los diversos servicios que se pueden ofrecer de acuerdo al rango de frecuencias que se emplee, (ver **Figura II-2**). Para las radiocomunicaciones por microondas se utilizan básicamente frecuencias contenidas en las bandas UHF<sup>2</sup>, SHF<sup>3</sup> y EHF<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> Diversidad: término referido a la inclusión de más de una ruta para la comunicación vía microonda, viene a considerarse a las rutas alternativas como respaldos en la transmisión.

<sup>2</sup> UHF (Ultra High Frequency): frecuencias ultra altas cuyo número de banda es 9 y sus intervalos de frecuencia oscilan entre 0.3GHz hasta 3GHz.

<sup>3</sup> SHF (Super High Frequency): frecuencias súper altas cuyo número de banda es 10 y con intervalos de frecuencia que oscilan entre 3GHz hasta 30GHz.

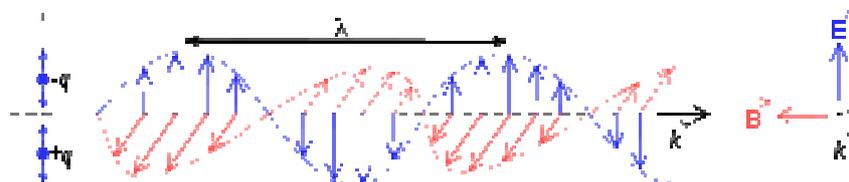


**Figura II-2: Espectro electromagnético.**

### 2.2.2.2 Propagación de las Ondas Electromagnéticas

Una *onda electromagnética* es la forma de propagación de la radiación electromagnética a través del espacio, y sus aspectos teóricos están relacionados con la solución en forma de onda que admiten las ecuaciones de Maxwell.

Una onda electromagnética contiene tanto campo eléctrico como magnético. Las ondas electromagnéticas son transversales; las direcciones de los campos eléctrico y magnético son perpendiculares a la dirección de propagación, (ver **Figura II-3**).



**Figura II-3: Onda electromagnética y sus componentes.**

---

<sup>4</sup> EHF (Extremely High Frequency): frecuencias extra altas, número de banda asignada es 11 y sus rangos de frecuencia están entre los 30GHz hasta los 300GHz.

### 2.2.2.3 Polarización electromagnética

La polarización de una onda electromagnética es la orientación que tiene el vector campo eléctrico con respecto a la superficie terrestre. Se tienen los siguientes tipos de polarización:

- Polarización lineal, aquí la polarización se mantiene constante a lo largo de la propagación. Puede ser vertical<sup>5</sup> u horizontal<sup>6</sup>.
- Polarización circular, el vector gira 360° al propagarse por el espacio recorriendo una longitud de onda. La intensidad del campo es igual en todas las orientaciones del vector.
- Polarización elíptica, aquí la intensidad del campo es variable conforme cambia la orientación del vector campo.

### 2.2.2.4 Radiación electromagnética

#### Densidad de potencia

Se define como la rapidez con la que la energía pasa a través de una determinada superficie en el espacio libre. Se la expresa en watts por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>).

La densidad de potencia se la obtiene de la siguiente ecuación:

$$\wp = \mathbf{E} \cdot \mathbf{H} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

Donde:

$\wp$  = Densidad de potencia (watts por metro cuadrado)

$\mathbf{E}$  = Intensidad del campo eléctrico (voltios por metro)

$\mathbf{H}$  = Intensidad del campo magnético (amperios por metro)

---

<sup>5</sup> Polarización vertical: el campo eléctrico se propaga perpendicularmente con respecto a la superficie terrestre.

<sup>6</sup> Polarización horizontal: el campo eléctrico se propaga paralelamente con respecto a la superficie de la tierra.

### Impedancia característica del espacio libre

Permite relacionar la intensidad del campo eléctrico y la intensidad del campo magnético en el espacio libre. Para medios de transmisión sin pérdidas se calcula en base a la siguiente relación:

$$Z_s = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} [\Omega]$$

Donde:

$Z_s$  = Impedancia característica del espacio libre (ohms)

$\mu_0$  = Permeabilidad magnética<sup>7</sup> del espacio libre ( $1.26 \times 10^{-6}$  H/m)

$\varepsilon_0$  = Permitividad eléctrica<sup>8</sup> del espacio libre ( $8.85 \times 10^{-12}$  F/m)

### Frente de onda esférico

Se produce por un radiador isotrópico<sup>9</sup>, el cual produce un frente esférico de radio R. Se entiende que la potencia irradiada se encuentra uniformemente distribuida en cualquier punto de la esfera.

La densidad de potencia en cualquier punto de la superficie de un frente esférico es:

$$\wp = \frac{P_{rad}}{4\pi R^2}$$

Donde:

$\wp$  = Densidad de potencia

$P_{rad}$  = Potencia total irradiada (watts)

$R^2$  = Área de la esfera

Se debe tener en cuenta la Ley del Cuadrado Inverso: *mientras más se aleja el frente de onda de la fuente, su densidad de potencia  $\wp$  es más pequeña.*

---

<sup>7</sup> Permeabilidad magnética: capacidad que tiene un medio para atraer y hacer pasar a través de éste los campos magnéticos.

<sup>8</sup> Permitividad eléctrica: constante física que describe la manera que un campo eléctrico afecta y es afectado por un medio.

<sup>9</sup> Radiador isotrópico: es una fuente ideal considerada puntual, que irradia potencia a una tasa constante en todas las direcciones.

### 2.2.2.5 Propiedades ópticas de las ondas de radio

Las propiedades ópticas pueden ser aplicadas a las ondas de radio, ya que las señales ópticas pueden ser concebidas como ondas de alta frecuencia. Para los fenómenos de reflexión y refracción se considera una onda electromagnética que incide sobre superficies grandes en relación a su longitud de onda.

Ya que el índice de refracción de un material es igual a la raíz cuadrada de su constante dieléctrica partiendo de la ecuación que expresa la Ley de Snell se tiene:

$$\frac{\text{Sen } \theta_1}{\text{Sen } \theta_2} = \sqrt{\frac{\epsilon_{r2}}{\epsilon_{r1}}}$$

Donde:

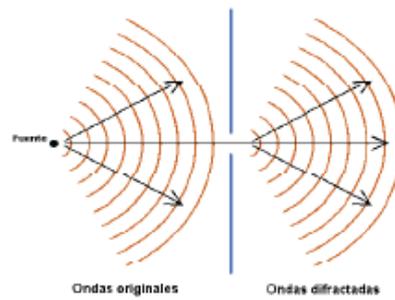
$\epsilon_{r1}$  = Constante deieléctrica del medio 1

$\epsilon_{r2}$  = Constante deieléctrica del medio 2

Cuando la superficie reflectora es curva, se tiene/ que la superficie de la onda reflejada es diferente a la superficie de la onda incidente. Si el frente de la onda incidente es curvo, y la superficie reflectora es plana, la curvatura del frente de onda reflejada es igual a la de la onda incidente.

### Difracción

Es el fenómeno que permite que las ondas de radio se propaguen en torno a superficies irregulares, (ver **Figura II-4**), Se presenta en discontinuidades de tamaño comparable a la longitud de onda de la señal, en donde los análisis geométricos analizados en la refracción y reflexión no son aplicables.



**Figura II-4: Fenómeno de difracción**

## Interferencia

La interferencia de ondas de radio se presenta cuando se combinan dos o más ondas electromagnéticas, degradando el comportamiento del sistema. Depende del principio de superposición lineal<sup>10</sup> y se genera cuando dos o más ondas se encuentran en el mismo punto del espacio en forma simultánea.

### 2.2.2.6 Propagación de las ondas electromagnéticas

Existen tres formas de propagación de ondas electromagnéticas dentro de la atmósfera terrestre:

- Onda terrestre.
- Onda espacial.
- Ondas celestes o ionosféricas.

#### Propagación de ondas terrestres

Este tipo de ondas viajan siguiendo la superficie terrestre, (ver **Figura II-5**). Las ondas terrestres necesariamente deben estar polarizadas verticalmente, ya que de estar polarizadas horizontalmente, las ondas se pondrían en corto debido a la conductividad del suelo.

---

<sup>10</sup> Principio de superposición lineal: establece que la intensidad total del voltaje en un punto dado en el espacio es igual a la suma de los vectores de ondas individuales.



**Figura II-5: Propagación de ondas terrestres**

Se propagan mejor sobre superficies conductoras como el agua salada. La atenuación en las ondas terrestres está en función directa de la distancia recorrida. Su propagación se limita a frecuencias menores a los 2 MHz. Este tipo de propagación es usada en comunicaciones marítimas y en radio navegación.

### **Propagación de las ondas espaciales**

Suelen ser generadas por propagación de ondas directas o por reflejo en la superficie terrestre. La transmisión por ondas directas también es conocida como transmisión por línea de vista (LOS) por sus siglas en inglés. Se propagan ondas cuyas frecuencias oscilan sobre los 30 MHz.

El alcance de la transmisión por línea de vista se encuentra limitado por la curvatura de la tierra como se puede apreciar en la **Figura II-6**. El alcance puede aumentar al elevar las antenas de emisión y recepción.



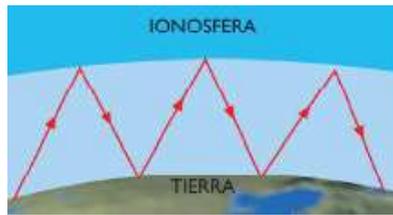
**Figura II-6: Propagación por línea de vista**

### **Propagación por ondas celestes**

Las ondas espaciales se irradian hacia el cielo, desde donde se reflejan o refractan hacia la superficie terrestre por la ionósfera<sup>11</sup>, (ver **Figura II-7**).

---

<sup>11</sup> Ionósfera: región del espacio que está entre los 50 y 400 Km sobre la superficie terrestre.



**Figura II-7: Propagación por ondas celestes**

### 2.2.2.7 Antenas

Una antena (**Figura II-8**) es un conductor o sistema de conductores capaces de radiar (antena emisora) y capturar ondas electromagnéticas (antena receptora).



**Figura II-8: Antena de microonda**

En el emisor, la antena convierte las ondas eléctricas que viajan por una línea de transmisión en ondas electromagnéticas que viajan por el espacio libre, en el receptor se realiza el proceso inverso.

En las antenas de emisión y recepción se usan diplexores<sup>12</sup> para evitar el acoplamiento de las ondas transmitidas (a alta potencia) con el receptor que es bastante sensible. Las características de las antenas dependen de la relación entre sus dimensiones y la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida. Si las dimensiones de la antena son mucho más pequeñas que la longitud de onda las antenas se denominan elementales, si tienen dimensiones del orden de media longitud de onda se llaman resonantes, y si su tamaño es mucho mayor que la longitud de onda son directivas.

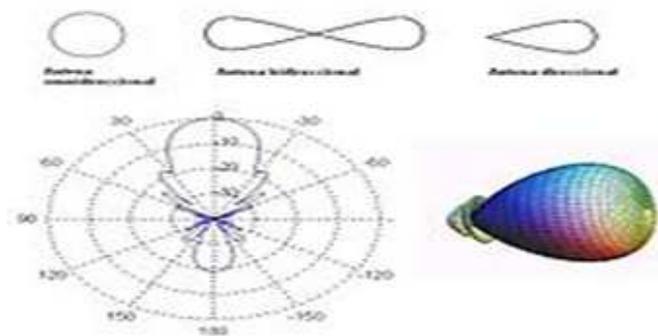
---

<sup>12</sup> Diplexor: dispositivo usado para dirigir las señales de transmisión y recepción.

Las antenas de microondas son altamente direccionables y tienen aberturas de haz de mitad de potencia en el orden de  $1^\circ$  o menos, con lo que se disminuye los efectos interferentes causados por antenas cercanas o fuentes externas.

### Diagrama de radiación (Patrón de radiación) de una antena

Permite representar gráficamente las características de radiación de una antena indicando las intensidades de campo o las densidades de potencia con respecto a determinadas posiciones angulares (coordenadas en azimut y elevación).



**Figura II-9: Patrón de radiación de una antena parabólica**

En un diagrama de radiación (ver **Figura II-9**) se tienen lóbulos primarios y lóbulos secundarios. Los primeros contienen la mayor cantidad de energía de emisión y recepción, mientras que los segundos generalmente representan radiación no deseada.

### Resistencia de radiación de una antena

Es un parámetro que no se puede medir directamente y, representa la porción de potencia que no es irradiada por la antena y se convierte en calor. Se calcula como la relación entre la potencia irradiada por la antena y el cuadrado de la corriente medida en el punto de alimentación.

$$R_r = \frac{P_{rad}}{i^2}$$

Donde:

$R_r$  = Resistencia de radiación (ohms)

$P_{rad}$  = Potencia irradiada por la antena (watts)

$i$  = Corriente medida en el punto de alimentación (amperios)

Se define paralelamente el concepto de eficiencia de la antena como la relación existente entre la potencia irradiada y la suma de la potencia irradiada con la potencia disipada:

$$\eta = \frac{P_{rad}}{P_{rad} + P_d} \times 100$$

Donde:

$\eta$  = Eficiencia de la antena

$P_{rad}$  = Potencia irradiada (watts)

$P_d$  = Potencia disipada (watts)

### **Ganancia directiva y ganancia de potencia de una antena**

Se define la ganancia directiva como la relación entre la densidad de potencia irradiada por la antena en una dirección determinada y la densidad de potencia irradiada en esa dirección por una antena isotrópica<sup>13</sup>, suponiendo que ambas antenas irradian la misma potencia. Se obtiene de la siguiente ecuación:

$$D = \frac{\wp}{\wp_{ref}}$$

Donde:

$D$  = Ganancia directiva

$\wp$  = Densidad de potencia de una determinada antena en un punto (watts/m<sup>2</sup>)

$\wp_{ref}$  = Densidad de potencia de una antena de referencia en el mismo punto (watts/m<sup>2</sup>)

A la ganancia de potencia se la define como un concepto similar a la ganancia directiva, pero en ésta se toma en cuenta la eficiencia de la antena. Se supone que tanto la antena a analizar como la antena referencial tienen la misma potencia de entrada y que las pérdidas en la antena de referencia son nulas, entonces se tiene la siguiente relación:

---

<sup>13</sup> Antena isotrópica: aquella que irradia la misma potencia de manera uniforme en todas las direcciones y que posee una ganancia equivalente a cero dB.

$$A_p = D \eta$$

Donde:

$A_p$  = Ganancia de potencia

$D$  = Ganancia directiva

$\eta$  = Eficiencia de la antena

La potencia irradiada por la antena nunca será mayor a la potencia de entrada, es decir no existe ningún proceso de amplificación en la antena.

### **Potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE) de una antena**

Se define como la potencia equivalente que debería irradiar una antena isotrópica para lograr la misma densidad de potencia de otra antena en determinada dirección y en el mismo punto. Se lo calcula de la siguiente manera:

$$PIRE = P_{rad} D_t$$

Donde:

$PIRE$  = Potencia isotrópica radiada efectiva (watts)

$P_{rad}$  = Potencia total irradiada (watts)

$D_t$  = Ganancia directiva de la antena de transmisión

#### **2.2.2.8 Características de la trayectoria del radioenlace**

En éste tipo de sistemas de transmisión existen las siguientes señales:

- Onda directa.
- Onda reflejada en tierra.
- Onda reflejada en el cielo
- Onda superficial.

Tanto las ondas reflejadas en el cielo como las ondas superficiales no suelen ser empleadas en enlaces vía microonda.

#### **Onda directa**

Se define como aquella onda propagada con línea de vista desde la antena emisora hasta la antena receptora.

#### **Onda reflejada en tierra**

Es una porción de la onda electromagnética que llega a la antena receptora luego de reflejarse en la superficie terrestre.

#### **Onda superficial**

Es aquella onda que viaja sobre la superficie terrestre debido a la presencia de campos eléctricos y magnéticos que se asocian con las corrientes inducidas en la superficie.

#### **Onda reflejada en el cielo**

Son aquellas ondas reflejadas en las capas ionizadas de la atmósfera para luego regresar a la superficie terrestre y llegar al receptor.

#### **2.2.2.9 Ganancia del sistema**

Se define como la diferencia entre la potencia nominal de salida de un transmisor y, la potencia de entrada mínima necesaria en el receptor.

Para establecer esta ganancia es necesario considerar tanto las pérdidas como las ganancias que se tiene a lo largo del enlace.

### **Pérdidas por trayectorias múltiples**

Son causadas por los choques de las ondas electromagnéticas con superficies sólidas lo que puede producir reflexión o difracción siendo, la difracción el fenómeno que cause un mayor impacto.

El principal efecto de propagación por trayectorias múltiples es que la señal transmitida llegue al receptor con fase distinta, lo cual puede generar una disminución en la intensidad de la señal dificultando así su recepción.

Para cuantificar el margen de desvanecimiento se toma en cuenta los efectos de la propagación por trayectorias múltiples, la sensibilidad del terreno y los objetivos de confiabilidad. Esto se ha expresado en la siguiente ecuación:

$$F_m = 30 \log D + 10 \log (6.A.B.f) - 10 \log (1 - R) - 70$$

Donde:

$F_m =$  Margen de desvanecimiento

$30 \log D =$  Efecto por trayectorias múltiples

$D =$  Distancia (kilómetros)

$10 \log (6.A.B.f) =$  Sensibilidad del terreno

$A =$  Factor de rigurosidad (ver **Tabla II – 1**)

$B =$  Factor para convertir la peor probabilidad mensual en probabilidad anual  
( ver **Tabla II – 2**)

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

$R = \text{Confiabilidad en tanto por uno}$

$(1 - R) = \text{Objetivo de confiabilidad para una ruta de 400 Km en un sentido}$

FACTOR DE RIGUROSIDAD (A)	TERRENO
4	Sobre agua o terreno muy liso
1	Sobre un terreno promedio
0.25	Sobre un terreno muy áspero y montañoso

**Tabla II-1: Valores para el factor de rigurosidad**

FACTOR DE CONVERSIÓN (B)	TERRENO
1	Para pasar una disponibilidad anual a la peor base mensual
0.5	Para áreas calientes y húmedas
0.25	Para áreas continentales promedio
0.125	Para áreas muy secas o montañosas

**Tabla II-2: Factor de conversión de peor probabilidad mensual a una probabilidad anual**

### Pérdidas de la trayectoria en el espacio libre

La mayor parte de la potencia de la señal de radio se perderá en el aire. Aún en el vacío, una onda de radio pierde energía (de acuerdo con los principios de Huygens) que se irradia en direcciones diferentes a la que puede capturar la antena receptora. Nótese que esto no tiene nada que ver con el aire, la niebla, la lluvia o cualquier otra cosa que puede adicionar pérdidas

La Pérdida en el Espacio libre (FSL), mide la potencia que se pierde en el mismo sin ninguna clase de obstáculo. Estas pérdidas dependen de la frecuencia y, aumentan con la distancia. Se calculan con la siguiente expresión:

$$L_{p(dB)} = 10 \log \left( \frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = 10 \log \left( \frac{4\pi f D}{c} \right)^2$$

Donde:

$L_p$  = Pérdidas en la trayectoria en el espacio libre

$D$  = Distancia (metros)

$f$  = Frecuencia (hertz)

$\lambda$  = Longitud de onda (metros)

$C$  = Velocidad de la luz en el espacio libre ( $3 \times 10^8$  m/s)

Es decir que la Pérdida en el Espacio libre es proporcional al cuadrado de la distancia y también proporcional al cuadrado de la frecuencia. Expresando en decibeles, resulta la siguiente ecuación:

$$L_p = 92,4 + 20 \log ( f \text{ [GHz]} ) + 20 \log ( D \text{ [Km]} )$$

### **Sensibilidad del receptor**

La sensibilidad de un receptor es un parámetro que merece especial atención ya que identifica el valor mínimo de potencia que necesita para poder decodificar/extraer “bits lógicos” y alcanzar una cierta tasa de bits.

El umbral del receptor depende en gran medida del nivel de ruido de banda ancha presente en el receptor. Además depende del ruido inherente al receptor y a la sensibilidad del detector de banda base al ruido.

La potencia de ruido de entrada se determina mediante la siguiente ecuación:

$$N = kTB$$

Donde:

$N$  = Potencia de ruido (watts)

$k = \text{constante de Boltzman } (1.38 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K})$

$T = \text{Temperatura equivalente del ruido del receptor } (^\circ\text{K})$

$B = \text{Ancho de banda del ruido (hertz)}$

Ahora para determinar el nivel de umbral del receptor se debe especificar previamente el requisito mínimo de la relación portadora a ruido (C/N), como se muestra a continuación:

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

Donde:

$C_{min} = \text{Umbral del receptor}$

$\frac{C}{N} = \text{relación portadora a ruido}$

$N = \text{Potencia del ruido}$

Cuanto más baja sea la sensibilidad, mejor será la recepción del radio. Un valor típico es -82 dBm en un enlace de 11 Mbps y -94 dBm para uno de 1 Mbps.

### **Cálculo de la ganancia del sistema**

Para el diseño de los enlaces inalámbricos es necesario el estudio de factibilidad de la recepción de la señal, para lo cual se analizan los parámetros que generan las pérdidas y ganancias de potencia dentro del sistema. Finalmente al relacionar las pérdidas y ganancias se calcula la potencia recibida, la misma que debe ser mayor a la del margen de recepción ofrecido por el fabricante (umbral de recepción).

La potencia capturada en recepción se calcula así:

$$P_{Rx} = \sum \text{ganancias} - \sum \text{pérdidas}$$

Donde:

$P_{Rx}$  = Potencia de recepción (dBm)

$$\sum \text{pérdidas} = L_p + L_f + L_b + F_m ,$$

donde:

$L_p$  = Pérdida en trayectoria por el espacio libre (dB)

$L_f$  = Pérdida en alimentador de guía de onda (dB) entre la red de distribución y su antena (Ver **Tabla II – 3**)

$L_b$  = Pérdida total por acoplamiento (dB) entre la salida de un Tx o la entrada de un Rx y, su guía de onda de alimentación respectiva

$F_m$  = Margen de desvanecimiento para determinado objetivo de confiabilidad

$$\sum \text{ganancias} = P_t + A_t + A_r ,$$

donde:

$P_t$  = Potencia de salida del transmisor (dBm)

$A_t$  = Ganancia de la antena del transmisor (dB) en relación a un radiador isotrópico (ver **Tabla II – 4**)

$A_r$  = Ganancia de la antena de recepción (dB) en relación a un radiador isotrópico (ver **Tabla II – 4**)

La ganancia de un sistema es un parámetro que sirve para estimar la confiabilidad del mismo.

		Pérdidas en alimentador de guía de onda $L_f$	Pérdidas por ramificación $L_b$ (dB)	
Frecuencia (GHZ)	Tipo	Pérdida (db/100m)	Diversidad (frecuencia)	Diversidad (espacial)
1.8	Cable coaxial lleno de aire	5.4	5	2
7.4	Guía de onda elíptica EWP 64	4.7	3	2
8.0	Guía de onda elíptica EWP 69	6.5	3	2

**Tabla II-3: Pérdidas en alimentador de guía de onda y pérdidas por ramificación**

Frecuencia (GHz)	Tamaño (m)	Ganancia (dB)
<b>1.8</b>	1.2	25.2
	2.4	31.2
	3.0	33.2
	3.7	34.7
<b>7.4</b>	1.5	38.8
	2.4	43.1
	3.0	44.8
	3.7	46.5
<b>8.0</b>	2.4	43.8
	3.0	45.6
	3.7	47.3
	4.8	49.8

**Tabla II-4: Ganancia en las antenas según su longitud y frecuencia de operación.**

## 2.3 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN ÓPTICOS

### 2.3.1 Principios Físicos

La fibra óptica es un filamento muy fino de material transparente (dióxido de silicio o materiales plásticos) usado en la transmisión de datos de forma guiada, éste hilo transporta pulsos de luz que representan la información, ver **Figura II-10**. Las fibras ópticas poseen capacidades de transmisión enormes, del orden de miles de millones de bits por segundo.

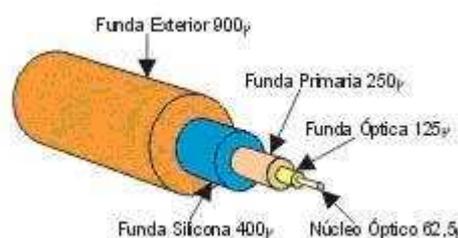


**Figura II-10: Fibra óptica.**

### 2.3.2 Componentes de la Fibra Óptica

Las fibras ópticas se encuentran compuestas por: núcleo, manto (funda óptica) y revestimiento de protección (ver **Figura II-11**).

El núcleo puede ser de silicio, cuarzo fundido o plástico y es el lugar por donde se propagan las ondas ópticas. El manto suele ser generalmente del mismo material que el núcleo y su función es la de confinar las ondas ópticas al núcleo. El revestimiento de protección por lo general suele ser fabricado en plástico y asegura la protección mecánica de la fibra.



**Figura II-11: Componentes de una fibra óptica**

### 2.3.3 Espectro Óptico

El espectro óptico es una subdivisión del espectro electromagnético. Se encuentra formado por luz visible<sup>14</sup>, luz infrarroja<sup>15</sup> y luz ultravioleta<sup>16</sup>.

La longitud de onda se define como la *distancia que ocupa en el espacio un ciclo de onda electromagnética*. Se calcula a partir de la frecuencia y la velocidad de la luz. Se relaciona matemáticamente según la siguiente expresión:

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

Donde:

$\lambda$  = Longitud de onda (en metros).

c = Velocidad de la luz en el vacío ( $3 \times 10^8$  metros/segundo).

f = Frecuencia (en hertzios).

Para la transmisión en fibra óptica se utilizan longitudes de onda ( $\lambda$ ) ubicadas en el infrarrojo cercano, para lo cual se utilizan cinco ventanas en este rango de longitudes de onda que son:

- Primera Ventana:  $\lambda = 850$  nm.
- Segunda Ventana:  $\lambda = 1310$  nm.
- Tercera Ventana:  $\lambda = 1550$  nm.
- Cuarta Ventana:  $\lambda = 1625$  nm.
- Quinta Ventana:  $\lambda = 1470$  nm.

La quinta ventana de transmisión ha surgido a partir del desarrollo de fibras Zero Water Peak (ZWP)-ITU G652.C, en las cuales se ha logrado disminuir las pérdidas causadas por los picos de atenuación por iones hidroxilo, en base a procesos especializados de fabricación de las fibras.

---

<sup>14</sup> Luz visible: contiene las longitudes de onda comprendidas entre los 770 nm hasta los 390 nm. (1 nm =  $10^{-9}$  m).

<sup>15</sup> Luz infrarroja: contiene las longitudes de onda que son demasiado grandes para el ojo humano.

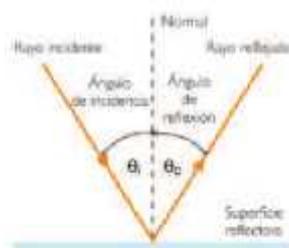
<sup>16</sup> Luz ultravioleta: contiene longitudes de onda que son demasiado cortas para ser vistas por el ojo humano.

## 2.3.4 Reflexión y Refracción en Señales Ópticas

Cuando se tiene la incidencia de un rayo de luz sobre un plano que limita a dos medios con distinto índice de refracción, se originan dos fenómenos: reflexión y refracción.

### 2.3.4.1 Reflexión

Se experimenta cuando una parte del haz incidente retorna al medio de donde procedió. El rayo producido se denomina haz reflejado, (ver **Figura II-12**).



**Figura II-12: Reflexión de señales ópticas**

La Ley de Reflexión rige éste fenómeno y determina que: *Los ángulos que forman el rayo incidente y el reflejado con la normal a la superficie de separación de los medios son iguales.*

$$\theta_i = \theta_r$$

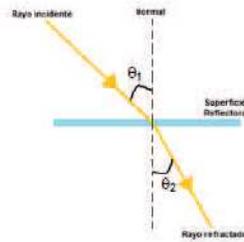
Donde:

$\theta_i$  = *Ángulo incidente*

$\theta_r$  = *Ángulo reflejado*

### 2.3.4.2 Refracción

La refracción se produce cuando el haz incidente se encuentra con el plano de separación de los medios y presenta una variación con respecto a la trayectoria original del haz (ver **Figura II-13**). Dicho haz se propaga a través del nuevo medio siguiendo una nueva trayectoria. El rayo resultante se denomina haz refractado.



**Figura II-13: Refracción de señales ópticas.**

La refracción se rige a través de la Ley de Snell que dice: *Los índices de refracción de los medios están en razón inversa de los senos de los ángulos que forman la normal a la superficie de separación con los respectivos rayos de luz.*

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{Sen}(\theta_2)}{\text{Sen}(\theta_1)}$$

Donde:

$n_1$  = Índice de refracción del medio 1

$n_2$  = Índice de refracción del medio 2

$\theta_1$  = Ángulo de incidencia

$\theta_2$  = Ángulo de refracción

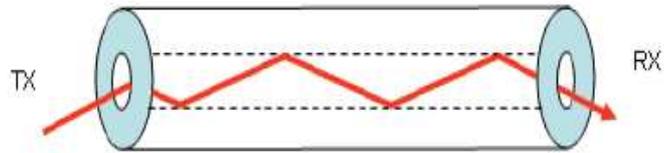
### 2.3.4.3 Reflexión Interna Total y Ángulo Crítico

La reflexión interna total mostrada en la **Figura II-14**, es aquel fenómeno que hace posible que los haces de luz viajen a través de la fibra, dicho fenómeno se basa en reflexiones internas múltiples que ocurren dentro de la fibra cuando se cumplen dos condiciones:

- El índice de refracción del núcleo ( $n_1$ ) debe ser mayor al índice de refracción del manto ( $n_2$ ).
- El ángulo de incidencia debe ser mayor al ángulo límite o también llamado crítico<sup>17</sup>. Cuando la incidencia es con un ángulo igual al crítico, el rayo se propaga a través del plano de separación entre el núcleo y el manto.

---

<sup>17</sup> Ángulo Crítico ( $\theta_c$ ): es el ángulo mínimo de incidencia para los rayos de luz, en el cual se produce la reflexión interna total.



**Figura II-14: Reflexión interna total**

El ángulo crítico se obtiene cuando el rayo refractado se propaga a través de la fibra siguiendo el plano de separación entre el núcleo y el manto; es decir, cuando el ángulo del ángulo refractado es de  $90^\circ$  con respecto a la normal del plano de separación. Por la Ley de Snell se tiene:

$$n_1 \text{ Sen } \theta_c = n_2 \text{ Sen } 90^\circ$$
$$\theta_c = \text{Sen}^{-1} \left( \frac{n_2}{n_1} \right)$$

Donde:

$\theta_c = \text{Ángulo crítico}$

$n_1 = \text{Índice de refracción del núcleo}$

$n_2 = \text{Índice de refracción del manto}$

#### **2.3.4.4 Ángulo de aceptación**

Para que los rayos de luz ingresen a la fibra óptica debe ocurrir un efecto de refracción. La luz se propagará de un medio menos denso ( $n_{\text{aire}}$ ) hacia uno de densidad mayor ( $n_2$ ), por lo que de acuerdo a la Ley de Snell, los rayos de luz se refractarán hacia el eje de la fibra, posibilitando así su ingreso.

Por la Ley de Snell se tiene:

$$n_{\text{aire}} \text{ Sen } \theta_0 = n_1 \text{ Sen } \theta_R$$

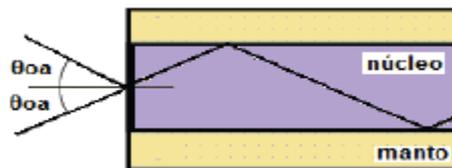
Donde:

$\theta_0 = \text{Ángulo de entrada de la luz desde el aire al núcleo}$

$\theta_R =$  Ángulo que forma el rayo refractado con el eje de la fibra

El ángulo de aceptación ( $\theta_{0a}$ ) es aquel ángulo máximo que determina que todo rayo de luz incidente con un ángulo menor o igual al mismo, sea refractado hacia el núcleo como se puede apreciar en la **Figura II-15**, caso contrario los rayos no son capturados y, regresan al aire a través del manto. El ángulo total de aceptación es el doble del ángulo de aceptación.

$$\theta_{total\ aceptación} = 2 \theta_{0a}$$



**Figura II-15: Ángulo de aceptación.**

#### 2.3.4.5 Apertura numérica

Es un parámetro que indica la cantidad de luz que puede aceptar una fibra. Se define como el seno del ángulo de aceptación y, se demuestra que depende únicamente de los índices de refracción del manto y del núcleo de la fibra.

Por definición:  $AN = \text{Sen } \theta_{ac}$

Además, por la Ley de Snell:

$$n_{aire} \text{ Sen } \theta_{ac} = n_1 \text{ Sen } \theta_R,$$

Donde:  $n_{aire} = 1$ , entonces se tiene:

$$\text{Sen } \theta_{ac} = n_1 \text{ Sen } \theta_R$$

Para ángulos complementarios se tiene:  $\text{Sen } \theta_R = \text{Cos } \theta_c$

Queda:  $AN = n_1 (\cos \theta_c)$

Por trigonometría se tiene:  $AN = n_1 \sqrt{1 - (\text{Sen } \theta_c)^2} = n_1 \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}}$

Por lo tanto:  $AN = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}$

Donde:

$\theta_{ac} = \text{Ángulo de aceptación}$

$\theta_R = \text{Ángulo refractado}$

$N = \text{Apertura numérica}$

$n_1 = \text{Índice de refracción del núcleo}$

$n_2 = \text{Índice de refracción del manto}$

Cuanto más parecidos sean los índices de refracción del núcleo y el manto, la apertura numérica será menor y por ende también su cono de aceptación. Mientras menor sea la apertura numérica se necesita una fuente de luz con menor ancho espectral. Los valores típicos de apertura numérica generalmente se encuentran entre 0.1 hasta 0.5

### **2.3.5 Tipos de Fibra Óptica**

Las diferentes trayectorias que puede seguir un haz de luz en el interior de la fibra se denomina modo de propagación y, según los modos de propagación se tiene dos tipos de fibra: multimodo y monomodo.

#### **2.3.5.1 Fibra Óptica Multimodo**

Una fibra multimodo es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino, lo cual supone que no llegan todos a la vez. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Suelen ser usadas de manera común en aplicaciones de corta distancia como por ejemplo dentro de edificios comerciales, bancos, oficinas y dependencias donde la distancia entre centros de cableado es inferior a los 2 km, es simple de diseñar y es económica.

El núcleo de éste tipo de fibra tiene un índice de refracción superior, pero del mismo orden de magnitud, que el revestimiento. Por ser su núcleo de gran tamaño es más difícil de conectar.

Dependiendo del tipo de índice de refracción del núcleo, se tiene dos tipos de fibra multimodo:

- Índice Escalonado, en éste tipo de fibra el índice de refracción del núcleo es constante en toda su sección cilíndrica, además presenta una alta dispersión modal.
- Índice Gradual, su índice de refracción no es constante, tiene menor dispersión modal y, el núcleo se compone de distintos materiales.

### **2.3.5.2 Fibra Óptica Monomodo**

Una fibra óptica monomodo es la que permite únicamente la propagación de un haz de luz. Esto se logra reduciendo el diámetro de su núcleo (de 8 a 10 micrómetros), limitando así la entrada de haces de luz a solo uno. La dispersión modal es nula lo que conlleva a transmisiones con mayor ancho de banda y a mayores distancias (300 Km. máximo) sin repetidores en relación a las fibras multimodo. Es utilizada para conexiones urbanas e interurbanas.

Al presentar mejores características de transmisión, su costo en relación a las fibras multimodo es mayor.

Actualmente se utiliza la fibra óptica monomodo en prácticamente todas las aplicaciones debido a su mejor ancho de banda y a la reducción de su costo.

### **2.3.6 Atenuación en los Sistemas de Transmisión Ópticos**

La luz que viaja a través de la fibra pierde potencia conforme recorre una distancia determinada; dichas pérdidas causan degradación en la comunicación.

La atenuación ( $\alpha$ ) se define en función de las potencias lumínicas de entrada y salida de la fibra y, es expresada en decibelios (dB). La atenuación es calculada para una determinada longitud de onda ( $\lambda$ ) y se obtiene a partir de la siguiente relación:

$$\alpha (\lambda)_{dB} = 10 \log \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

Donde:

$P_{out}$  = Potencia lumínica de salida

$P_{in}$  = Potencia lumínica de entrada

Es común también expresar la atenuación presentada por la fibra en relación a una determinada unidad de longitud (L) tal como se muestra a continuación:

$$\alpha (\lambda)_{dB/Km} = \frac{10 \log \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right)}{L}$$

### 2.3.7 Pérdidas en Sistemas Ópticos

Las pérdidas ocasionan una disminución en el ancho de banda de la transmisión, de la velocidad de transmisión y, por ende, de la eficiencia y capacidad total del sistema de comunicación óptico.

#### 2.3.7.1 Pérdidas Intrínsecas a la Fibra

##### **Pérdidas por Absorción**

Son aquellas que se deben a las impurezas presentes en el vidrio y, a la absorción de la luz a nivel molecular. Para la fabricación de la fibra se usa vidrio con niveles de pureza que llegan hasta el 99.9999%; a pesar de ello se filtran pequeñas impurezas las mismas que introducen pérdidas en la fibra en el orden de algunos dB/Km.

##### **Pérdidas por Dispersión de Rayleigh y Mie**

Son pérdidas causadas por las imperfecciones presentes en el material con el que se elabora la fibra. Dichas imperfecciones se deben a fallas en el proceso de fabricación las cuales ocasionan

difracción<sup>18</sup> lo que causa dispersión de luz y ocasiona que parte de ella se dirija a la cubierta generándose pérdidas.

De acuerdo a la longitud de onda se tiene valores aproximados para las pérdidas por absorción y por efecto Rayleigh. Los valores se indican en la **Tabla II-5**.

$\lambda$ (nm)	Absorción (dB/Km)	Rayleigh (dB/Km)
1300	0.05	0.25
1550	0.09	0.15

**Tabla II-5: Pérdidas por absorción y por efecto Rayleigh**

### 2.3.7.2 Pérdidas Extrínsecas a la Fibra

#### **Pérdidas por curvaturas**

Son ocasionadas por curvaturas generadas al momento de la manipulación (tendido o instalación). Se produce debido a un cambio de ángulo de incidencia en el umbral entre el núcleo y la cubierta, lo que conlleva a una violación del principio de reflexión interna total. Es de variación exponencial en función del radio de curvatura crítico que presente.

#### **Pérdidas por microcurvaturas**

Son generadas por imperfecciones presentes en la fibra debido a su deterioro, su causa principal son los efectos climáticos que generan una variación o cambio en el diámetro de la fibra.

#### **Pérdidas por tendido, ambiente y envejecimiento**

Las pérdidas causadas por el tendido se originan debido a las tracciones inherentes al proceso de instalación, las cuales acortan la vida útil de la fibra y generan pérdidas.

---

<sup>18</sup> Difracción: fenómeno que se da cuando la luz choca con las irregularidades sub-microscópicas inherentes a la fibra lo que produce que la luz se propague en otras direcciones.

Los agentes climáticos extremos degradan de alguna manera el recubrimiento de la fibra generando un desgaste y ocasionando fisuras que se representan en pérdidas. De la misma manera el envejecimiento de la fibra puede generar tensiones adicionales con su desgaste.

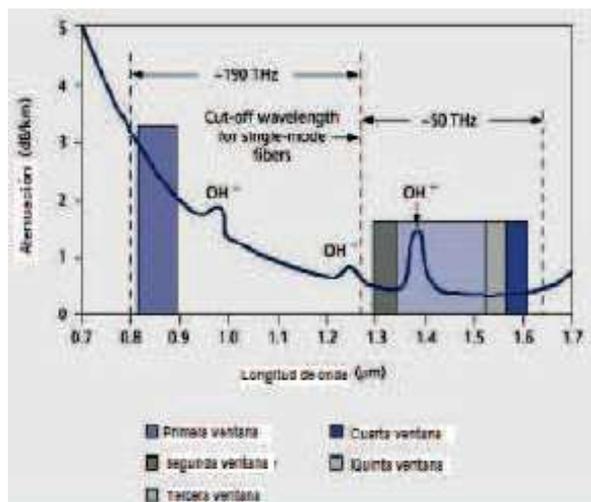
### Pérdidas por empalme y conectorización

Son generadas por los elementos que se adicionan a la fibra, los cuales son necesarios en el sistema de comunicación óptico tales como conectores y uniones. Dichas pérdidas se ocasionan también en el proceso de empalme de la fibra.

Las pérdidas en un empalme mecánico son de unos 0.5 dB, mientras que en un empalme por fusión pueden llegar a unos 0.2 dB. Generalmente las pérdidas originadas en los conectores están en el orden de 0.1 a 0.7 dB.

### 2.3.8 Ventanas de Transmisión para la Fibra Óptica

Las ventanas de transmisión son rangos de longitudes de onda sobre los cuales es posible la propagación de haces de luz con la menor atenuación.



**Figura II-16: Ventanas de transmisión para la fibra óptica**

La **Figura II-16** permite citar lo siguiente:

- Para longitudes de onda menores a los 800nm se tiene una atenuación alta, resultando no conveniente su uso.
- Para longitudes de onda mayores a aproximadamente 1610nm, la atenuación crece indefinidamente debido a la absorción de rayos infrarrojos, por esto se descarta éste rango.
- Se evidencia pequeñas ventanas en las cuales la atenuación es mínima, siendo ideales para la transmisión. Éstas ventanas están en los 850, 1310, 1550, 1625 y 1470 nm.

### **2.3.9 Dispersión en Sistemas de Transmisión Ópticos**

Éste fenómeno ocurre cuando el pulso de luz se ensancha a lo largo de la transmisión por la fibra. La dispersión puede llegar a ser tan alta de manera que en la recepción será prácticamente imposible distinguir si el pulso de luz es un cero lógico o un uno lógico. La dispersión es directamente proporcional a la longitud de la fibra. La dispersión puede ser modal, cromática (de guía de onda y del material) y, por modo de polarización.

#### **2.3.9.1 Dispersión Modal**

Ocurre solamente en las fibras multimodo y, es causada por la presencia de varios modos en la transmisión de pulsos de luz, los mismos que al tener distintas trayectorias recorren distancias diferentes llegando al receptor en instantes distintos haciendo que los pulsos de luz se dispersen y puedan interferir con los pulsos siguientes.

#### **2.3.9.2 Dispersión Cromática**

##### **De material Espectral**

Se pueden presentar tanto en fibras monomodo como en las multimodo. Se origina debido a que el índice de refracción de una fibra óptica varía en función de la longitud de onda, esto genera distintas velocidades de propagación y, por ende, distintos retardos, produciéndose ahí un ensanchamiento del pulso y provocando la dispersión. En consecuencia, a mayor distancia entre emisor y receptor exista, se presentará una mayor dispersión espectral.

## De Guía de Onda

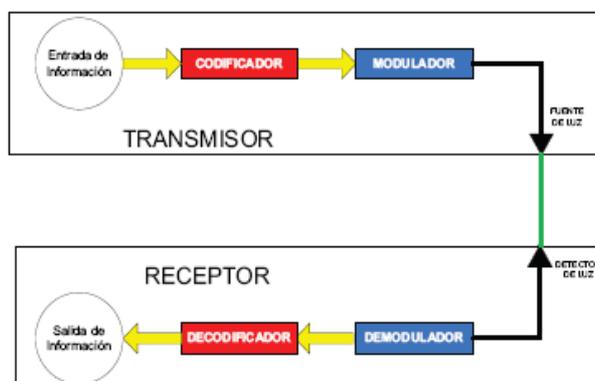
Se halla presente de manera significativa en las fibras monomodo. Se produce porque una parte de la energía que no se transporta por el núcleo viaja a través del manto, el cual, al tener un distinto índice de refracción propaga a distinta velocidad y por ende ésta porción de energía (pulso) llegará con distinto retardo.

### 2.3.9.3 Dispersión por Modo de Polarización

Esta presente solamente en fibras monomodo. Es generada por las mismas causas de la dispersión cromática de guía de onda. Se relaciona con la propiedad de la luz debido a que ésta al propagarse presenta vibraciones en distintas direcciones, esto genera distintas velocidades de propagación. La dispersión de polarización es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la longitud de la fibra y usualmente está en el orden de los picosegundos ( $10^{-12}$  segundos).

### 2.3.10 Elementos de un Sistema de Transmisión Óptico

Un sistema de transmisión óptico (ver **Figura II-17**) se compone básicamente de: transmisor óptico, la fibra como medio de comunicación y, un receptor óptico. En el trayecto por el que recorre la información resulta necesaria la inclusión de otros equipos y elementos, tanto activos (amplificadores ópticos, regeneradores ópticos, convertidores) como pasivos (conectores, acopladores), los cuales permiten que la señal transmitida llegue a su destino de manera óptima.



**Figura II-17: Sistema de Transmisión Óptico**

### 2.3.10.1 Transmisores Ópticos

Su función es generar la señal óptica que viajará a través de la fibra. Su utilización dependen de los requerimientos que se tenga tales como: velocidad de transmisión y niveles de potencia.

Los transmisores ópticos pueden ser:

- LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).
- LED (Light Emitting Diode).

En la **Tabla II-6** se indica un cuadro comparativo de las características de las fuentes de LED y LASER.

PARÁMETRO	LED	LASER
Estabilidad térmica	Buena	Mala
Potencia emitida	Baja	Alta
Anchura espectral	20 a 150 nm	1 a 5 nm
Costo	Bajo	Alto
Vida útil	Larga	Corta
Tiempo de respuesta	Alto	Bajo

**Tabla II-6: Cuadro comparativo de las características de las fuentes LED y LASER.**

### 2.3.10.2 Receptores Ópticos

Son los encargados de convertir una señal óptica a eléctrica. El elemento básico constituido en receptor óptico es el detector de luz el mismo que debe garantizar una alta sensibilidad<sup>19</sup>, un tiempo de retardo mínimo y, además debe minimizar el ruido generado internamente para poder así detectar señales de luz pequeñas.

---

<sup>19</sup> Sensitividad: parámetro que permite medir la respuesta del receptor ante una excitación lumínica en función de su intensidad.

### **2.3.11 Ventajas de la Fibra Óptica en Sistemas de Comunicación**

Las comunicaciones a través de fibra óptica tienen significativas ventajas con relación a los medios guiados de cobre y coaxiales, entre las más relevantes están:

- Es inmune al ruido e interferencias electromagnéticas siendo óptima en tendidos localizados cerca o sobre torres de alta tensión o postes de alumbrado público.
- Las fibras no pierden luz, por lo que la transmisión resulta segura y no puede ser perturbada.
- Compatibilidad con la tecnología digital lo cual garantiza una migración segura.
- Alta capacidad de transmisión de datos alcanzando anchos de banda considerablemente grandes.
- Fácil de manipular (en comparación con los medios de transmisión metálicos) y, de dar mantenimiento porque existen una gran variedad de equipos construidos para este fin.
- Su materia prima es abundante en la naturaleza lo que garantiza su existencia.

### **2.3.12 Desventajas de la Fibra Óptica en Sistemas de Comunicación**

- Su costo es relativamente caro comparado con cables metálicos.
- La manipulación de las fibras debe ser muy cuidadosa porque se las considera frágiles.

El mantenimiento, instalación y reparación de un sistema basado en fibra óptica debe ser efectuado por personal calificado y especializado.

## **CAPÍTULO III**

### **ESTUDIO DE MERCADO Y COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS**

#### **3.1 ASPECTOS GENERALES**

Las telecomunicaciones constituyen, incuestionablemente, un polo de desarrollo para las naciones. Las limitaciones tecnológicas (infraestructura), las decisiones políticas y la legislación en el Ecuador han frenado avances ágiles en el sector. El principal problema en telecomunicaciones que enfrentaba el Ecuador, deficiente calidad y costos elevados por los servicios de Internet, fue superado, en parte, por la conexión directa a los cables submarinos de fibra óptica, que el grupo Telefónica gestionó. Sin embargo, el mercado de las telecomunicaciones en Ecuador es muy atractivo para las empresas, pues quedan al momento muchos ámbitos por cubrir.

Por los antecedentes expuestos, ésta investigación se halla orientada a elaborar el estudio y diseño óptimo de un servicio de telecomunicaciones para la población de Pompeya con el fin de satisfacer la demanda existente en la mencionada población y a su vez expandir el mercado de la empresa CNT S.A. CHIMBORAZO.

## **3.2 SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES**

Los servicios de telecomunicaciones que ofrece la CNT son los siguientes:

### **3.2.1 Servicios básicos**

- Línea Nueva.
- Líneas Telefónicas Temporales.
- Teléfonos Remotos.
- Línea Nueva Vacante Por Mora.
- Traslado.
- Integración Pbx.
- Disolución Pbx.

### **3.2.2 Servicios adicionales**

- Cambio de Número.
- Cambio de Categoría.
- Bloqueos (Ddl, Ddr, Ddn, Ddi, celular, 1-900).
- Desbloques (Ddl, Ddr, Ddn, Ddi, Celular, 1-900).
- Suspensión Temporal.
- Reconexión por Suspensión Temporal.
- Exoneración de impuestos por tercera edad.
- Rectificación de Datos del Cliente.
- Traspaso.
- Números Reservados.

### **3.2.3 Servicios suplementarios**

- Llamada en Espera.
- Transferencia de Llamadas.

- Código Secreto.
- Marcación Abreviada.
- Servicio de Identificación de Llamadas.
- Línea Conmutada Directa.
- No Perturbar.
- Rediscado Automático en caso de Número Ocupado.
- Rediscado al último Número Llamante.

#### **3.2.4 Servicios de plataforma inteligente**

- Servicio 1-700.
- Servicio 1-800.
- Servicio 1-900.
- Servicio 161 (Tarjeta de Telecomunicaciones).
- Servicio 0812 (Tarjeta Prepago Telefónico).

#### **3.2.5 Servicios de plataforma de correo de voz**

- Casillero de Voz y/o Fax.
- Casillero Familiar.
- Casilleros Corporativos.
- Teléfono Fax y Telefax Virtual.

#### **3.2.6 Servicios de avanzada**

- Circuitos Permanentes Locales.
- Circuitos Permanentes Regionales y Nacionales.
- Circuitos Permanentes Internacionales.
- RDSI (Servicios de Voz).

### **3.2.7 Servicios empresariales**

- Línea Nueva.
- Líneas Telefónicas Temporales.
- Integración Pbx.
- Disolución Pbx.
- Línea Conmutada Directa.
- Servicio 1-700.
- Servicio 1-800.
- Servicio 1-900.
- Casilleros Corporativos.
- Circuitos Permanentes Regionales y Nacionales.
- Circuitos Permanentes Internacionales.
- RDSI (Servicios de Voz).

### **3.3 CARACTERÍSTICAS DEL SERVICIO**

CNT cuenta en la actualidad con una plataforma tecnológica de avanzada la cual se soporta en varias redes para brindar servicios como: TDM para redes fijas en modo circuito con caminos reservados, redes SS7 y RI (Red Inteligente) en modo de conmutación de mensajes, red de datos en modo paquete y protocolo convencional IP y líneas alquiladas. A parte las Redes de Nueva Generación (NGN) integran todos estos servicios en una sola red, optimizando los servicios que se brinda al usuario, los procedimientos y costos de operación y mantenimiento, además de brindar una nueva gama de servicios IP multimedia de nueva generación como: comunicaciones VoIP de nueva generación, video comunicación, mensajerías integradas multimedia, integración con servicios IPTV entre otros.

Actualmente CNT ostenta como sus puntos fuertes su: tecnología de última generación, imagen, prestigio y personal capacitado, además posee como punto a favor el control casi total de la telefonía fija en el país lo que le permite controlar el mercado y ampliar según sus políticas su área de cobertura.

### 3.4 ANÁLISIS DE LA OFERTA Y DEMANDA

La investigación referente al estudio de demanda se lo realizó de manera directa, partiendo de encuestas cuyo propósito se enfoca en la obtención de información sobre el tipo de servicio requerido (telefonía, internet o ambas), la disponibilidad del servicio así como sus costos de instalación y de mantenimiento.

La población objeto de estudio se muestra en la **Tabla III-7**.

COMUNIDAD	POBLACIÓN <sup>20</sup>
Pompeya	180
Flores	216
Cuello Loma	62
Tambido Quincahuan	93
Quincahuan	35
<b>TOTAL</b>	<b>586</b>

**Tabla III-7: Tamaño de la población objeto del estudio.**

Fuente: Juntas Parroquiales Rurales de Chimborazo.

Elaborado por: Autores de Tesis

De los resultados obtenidos en la investigación de campo se ha determinado que el tamaño de la población es de 586 familias. Al ser un número relativamente pequeño resulta inapropiado e innecesario aplicar algún método de muestreo para determinar el tamaño de la muestra que debía ser censada, por consiguiente, se consideró *censar a toda la población* considerada como nuestro universo.

Como el proyecto se enfoca a los servicios de telefonía e internet, resultó necesario hacer dos cuestionarios (encuestas) cuyos resultados fueron:

---

<sup>20</sup> Población considerada según el **número de familias** que habitan en el sector

### 3.4.1 Cuestionario 1

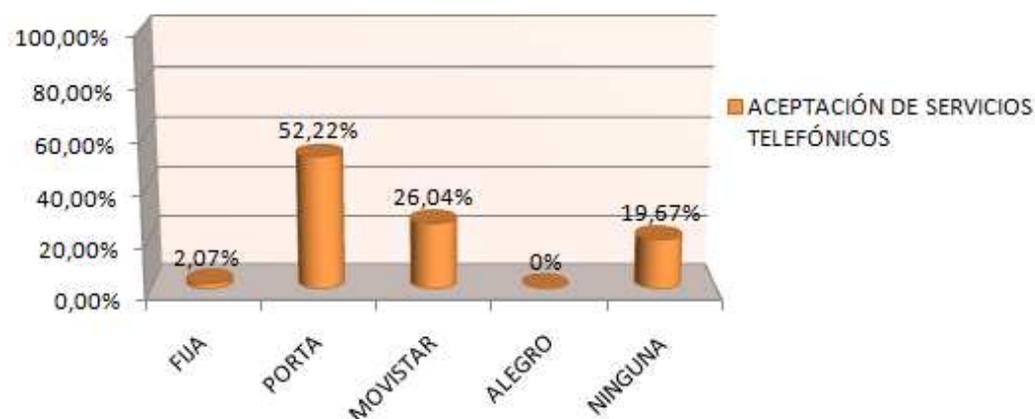
#### 1) ¿ACTUALMENTE SE ENCUENTRA UTILIZANDO ALGÚN SERVICIO DE TELEFONÍA?, SELECCIONE

OPERADORA	CANTIDAD	PORCENTAJE
FIJA	14	2.07 %
PORTA	353	52.22 %
MOVISTAR	176	26.04 %
ALEGRO	0	0 %
NINGUNA	133	19.67 %
<b>TOTAL</b>	<b>676</b>	<b>100 %</b>

**Tabla III-8: Resultados Pregunta 1, cuestionario 1.**

Fuente: Encuesta 1

Elaborado por: Autores de Tesis



**Figura III-18: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 1, cuestionario 1.**

#### Interpretación:

En la **Figura III-18** se puede apreciar que los niveles de aceptación de servicios de telefonía móvil predominan en el mercado llegando a un 71.89% entre éste tipo de operadoras pero, también hay una cuota de mercado que aún no ha sido cubierta que alcanza el 19.67%. Estos valores porcentuales están en función de 676 respuestas emitidas por 586 encuestados.

El número de respuestas emitidas es mayor al universo (número de personas encuestadas) debido a que 90 encuestados han manifestado poseer dos servicios de telefonía.

Es decir:

$U$  = Cantidad de personas encuestadas

$DS$  = Cantidad de personas encuestadas que poseen 2 servicios telefónicos

$TR$  = Total de respuestas emitidas por los encuestados

$$DS = TR - U = 676 - 586$$

$$DS = 90$$

Ahora, en vista de que los resultados expresados en la **Tabla III-8** y, representados en la **Figura III-18**, se encuentran sobre un universo de 676 respuestas que son emitidas por un universo de 586 encuestados, hay que hacer una correlación verdadera de la información para mostrar el tamaño del mercado que verdaderamente dispone o no de servicio telefónico alguno, que es el objetivo de la pregunta.

Considerando lo antes expuesto se tiene:

$MS$  = Porcentaje del mercado sin ningún servicio telefónico

$NS$  = Cantidad de encuestados sin ningún servicio telefónico

$TS$  = Porcentaje de encuestados que poseen servicio telefónico

$$MS = \frac{NS}{U} * 100\%$$

$$MS = \frac{133}{586} * 100\% = 22.7\%$$

$$TS = \frac{U - NS}{U} * 100\%$$

$$TS = \frac{586 - 133}{586} * 100\% = 77.3\%$$

Es decir, de los 586 consultados el 77.3% asegura contar con al menos con un servicio telefónico, mientras que un 22.7% dice no contar con servicio telefónico alguno.

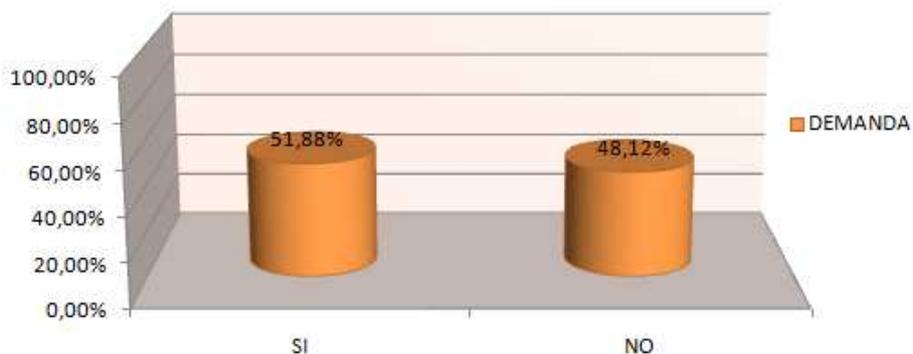
2) **¿DESEARÍA CONTRATAR LOS SERVICIOS DE TELEFONÍA OFRECIDOS POR LA EMPRESA CNT S.A.?**

CATEGORÍA	CANTIDAD	PORCENTAJE
SI	304	51.88%
NO	282	48.12%
<b>TOTAL</b>	<b>586</b>	<b>100%</b>

**Tabla III-9: Resultados Pregunta 2, cuestionario 1.**

Fuente: Encuesta 1

Elaborado por: Autores de Tesis



**Figura III-19: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 2, cuestionario 1.**

**Interpretación:**

$D = Demanda$

$$D = \frac{304}{586} * 100\%$$

$$D = 51.88\%$$

Un 51.88% de los encuestados manifiestan su deseo de contar con los servicios de telefonía ofrecidos por la empresa CNT S.A.

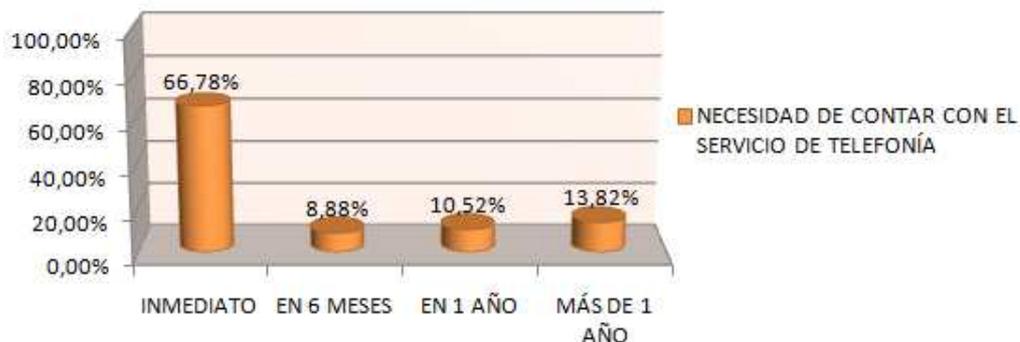
3) ¿DENTRO DE QUÉ TIEMPO DESEARÍA CONTAR CON EL SERVICIO DE TELEFONÍA?

CATEGORÍA	CANTIDAD	PORCENTAJE
INMEDIATO	203	66.78%
EN 6 MESES	27	8.88%
EN 1 AÑO	32	10.52%
MÁS DE UN AÑO	42	13.82%
<b>TOTAL</b>	<b>304</b>	<b>100%</b>

**Tabla III-10: Resultados Pregunta 3, cuestionario 1.**

Fuente: Encuesta 1

Elaborado por: Autores de Tesis



**Figura III-20: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 3, cuestionario1.**

**Interpretación:**

El 66.78% de las personas que desean contar con los servicios de telefonía ofrecidos por CNT S.A. mencionan la necesidad inmediata de contar con dicho servicio, en los seis meses posteriores se tendría una demanda mínima cuyo valor porcentual es 8.88%, en cambio la demanda que se proyecta para dentro de un año es del 10.52% aunque, un 13.82% de la

población manifiesta que desearía contar con los servicios de telefonía a futuro (más de un año).

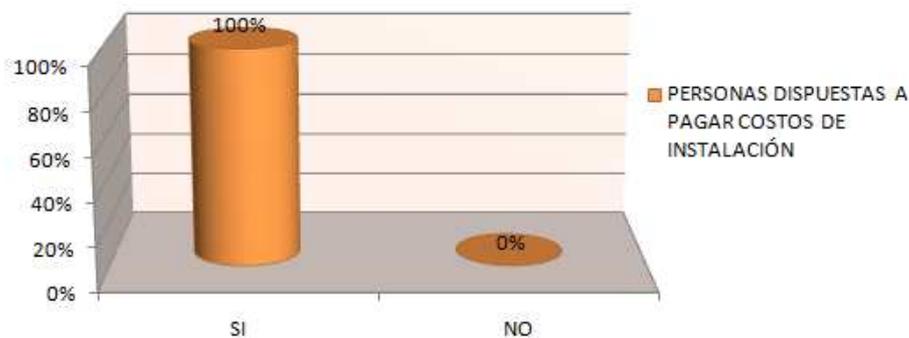
**4) ¿ESTARÍA DISPUESTO A PAGAR 67.20 DOLARES POR COSTOS DE INSTALACIÓN DEL SERVICIO TELEFÓNICO?**

CATEGORÍA	CANTIDAD	PORCENTAJE
SI	304	100%
NO	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>304</b>	<b>100%</b>

**Tabla III-11: Resultados Pregunta 4, cuestionario 1.**

Fuente: Encuesta 1

Elaborado por: Autores de Tesis



**Figura III-21: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 4, cuestionario 1.**

**Interpretación:**

*DI = Demanda Insatisfecha*

$$DI = \frac{304}{586} * 100\%$$

$$DI = 51.88\%$$

El 100% de las personas que **SI** desean los servicios de telefonía fija proporcionados por la empresa CNT S.A. están dispuestos a pagar los costos de instalación comprendidos en 60 USD + IVA (\$67.20).

5) ¿CÓMO ESTARÍA DISPUESTO A PAGAR EL VALOR FIJADO POR COSTOS DE INSTALACIÓN DEL SERVICIO DE TELEFONÍA?

CATEGORÍA	CANTIDAD	PORCENTAJE
CONTADO	33	10.86%
A 1 MES	38	12.50%
A 2 MESES	92	30.26%
A 3 MESES	141	46.38%
<b>TOTAL</b>	<b>304</b>	<b>100%</b>

Tabla III-12: Resultados Pregunta 5, cuestionario 1.

Fuente: Encuesta 1

Elaborado por: Autores de Tesis

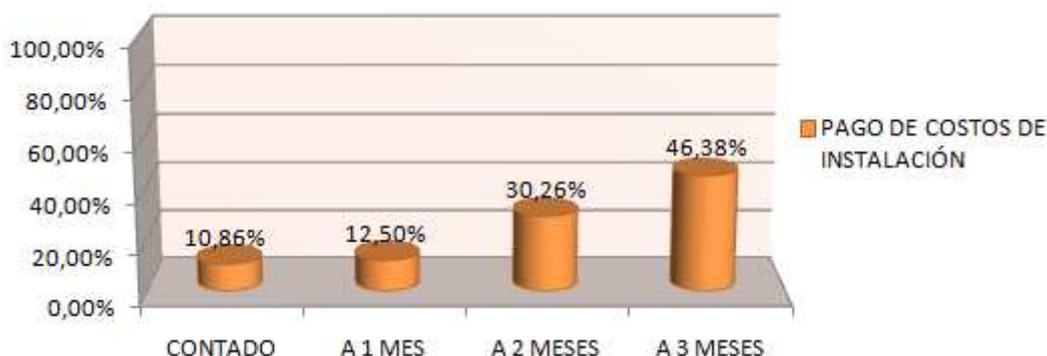


Figura III-22: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 5, cuestionario 1.

**Interpretación:**

Como se puede apreciar en la **Figura III-5**, los pagos por los costos de instalación tienen un comportamiento ascendente a la medida que el plazo de pago sugerido en la encuesta se incrementa; la empresa CNT S.A. debería esperar un lapso de tres meses para recaudar totalmente los valores por costos de instalación de acuerdo a lo siguiente: iniciará recaudando un 10.86% de contado, dentro de un mes recibirá un 12.50%, al cabo de dos meses recibirá el 30.26% y al cabo de tres meses recaudará el 46.38% que equivale al porcentaje restante del rubro.

6) ¿CUÁNTO ESTARÍA DISPUESTO A PAGAR MENSUALMENTE POR LOS SERVICIOS DE TELEFONÍA?

CATEGORÍA	CANTIDAD	PORCENTAJE
10 DOLARES	283	93.09%
15 DOLARES	17	5.59%
20 DOLARES	4	1.32%
MÁS DE 20 DOLARES	0	0.00%
<b>TOTAL</b>	<b>304</b>	<b>100%</b>

*Tabla III-13: Resultados Pregunta 6, cuestionario 1.*

Fuente: Encuesta 1

Elaborado por: Autores de Tesis



*Figura III-23: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 6, cuestionario 1.*

**Interpretación:**

De las tarifas insinuadas para el pago como tarifa mensual, la que tiene una mayor aceptación en la población ha sido la de 10 dólares con una equivalencia porcentual muy grande (93.09%). La tarifa insinuada de 15 dólares solo tiene una acogida del 5.59% de la población que estaría dispuesta a contratar el servicio y, solo un 1.32% desearía contratar tarifas de 20 dólares.

Ninguna persona que esté dispuesta a contratar los servicios telefónicos de CNT S.A. expresa su deseo de contratar planes con tarifas superiores a los 20 dólares.

### 3.4.2 Cuestionario 2

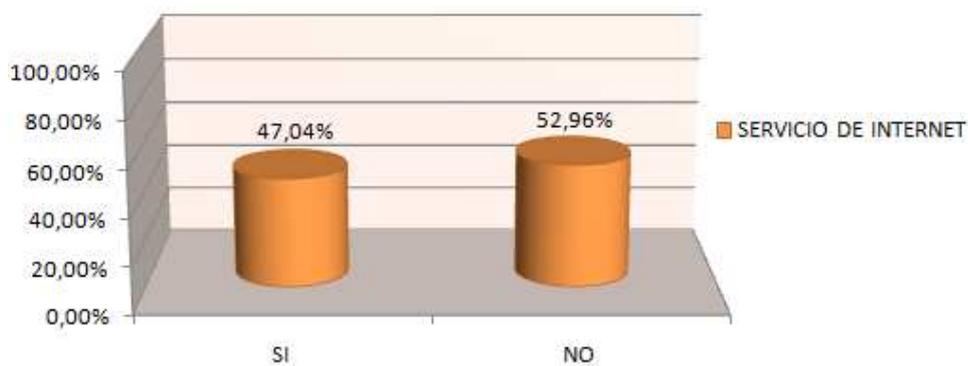
1) ¿DESEARÍA CONTRATAR EL SERVICIO DE INTERNET QUE OFRECE LA EMPRESA CNT S.A.?

CATEGORÍA	CANTIDAD	PORCENTAJE
SI	143	47.04%
NO	161	52.96%
<b>TOTAL</b>	<b>304</b>	<b>100%</b>

*Tabla III-14: Resultados Pregunta 1, cuestionario 2.*

Fuente: Encuesta 2

Elaborado por: Autores de Tesis



*Figura III-24: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 1, cuestionario 2.*

**Interpretación:**

*D = Demanda*

$$D = \frac{143}{304} * 100\%$$

$$D = 47.04\%$$

Un 47.04% de los 304 encuestados manifiestan su deseo de contar con los servicios de internet ofrecidos por la empresa CNT S.A.

2) ¿DENTRO DE QUÉ TIEMPO DESEARÍA CONTAR CON EL SERVICIO DE INTERNET?

CATEGORÍA	CANTIDAD	PORCENTAJE
INMEDIATO	48	33.57%
EN 6 MESES	7	4.90%
EN 1 AÑO	23	16.08%
MÁS DE 1 AÑO	65	45.45%
<b>TOTAL</b>	<b>143</b>	<b>100%</b>

Tabla III-15: Resultados Pregunta 2, cuestionario 2.

Fuente: Encuesta 2

Elaborado por: Autores de Tesis

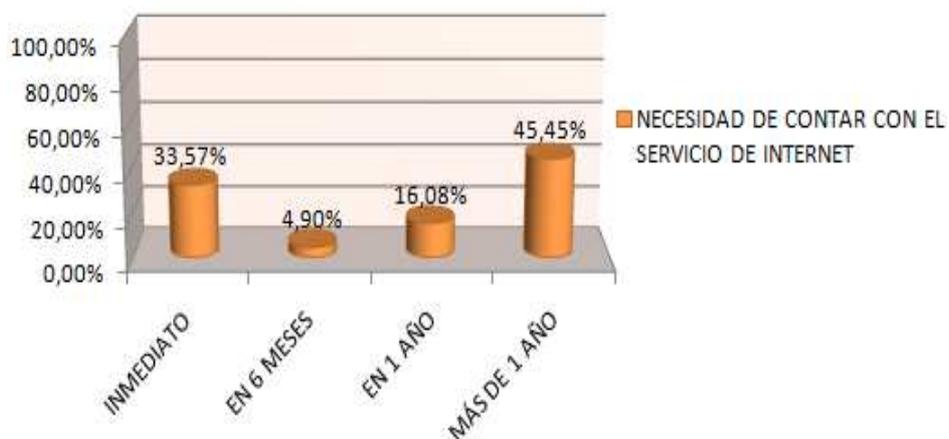


Figura III-25: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 2, cuestionario 2.

**Interpretación:**

De los 143 encuestados que manifiestan sus deseos de contar con los servicios de internet, el 33.57% expresa requerir de forma inmediata, el 4.90% desea disponer dentro de un lapso de 6 meses, un 16.08% requiere al cabo de un año y el 45.45% dentro de un período superior a 1 año.

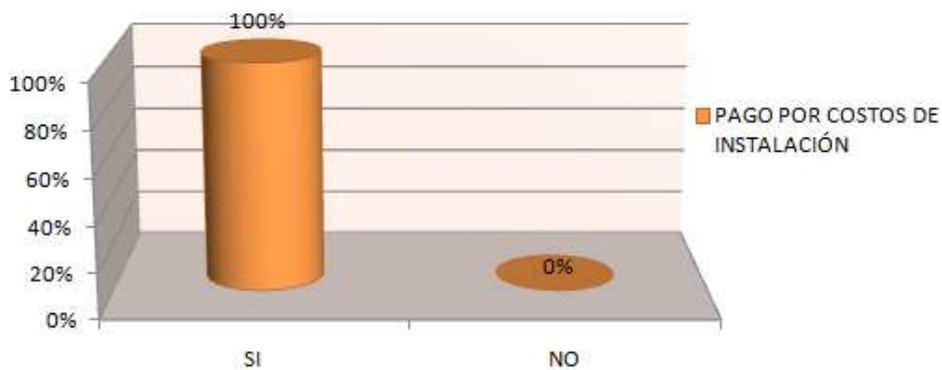
3) ¿ESTARÍA DISPUESTO A PAGAR 50 DOLARES POR COSTOS DE INSTALACIÓN DEL SERVICIO DE INTERNET?

CATEGORÍA	CANTIDAD	PORCENTAJE
SI	143	100%
NO	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>143</b>	<b>100%</b>

**Tabla III-16: Resultados Pregunta 3, cuestionario 2.**

Fuente: Encuesta 2

Elaborado por: Autores de Tesis



**Figura III-26: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 3, cuestionario 2.**

**Interpretación:**

El 100% de las personas que manifiestan requerir el servicio de internet están dispuestas a pagar el valor determinado por la empresa CNT S.A. por costos de instalación (50 USD).

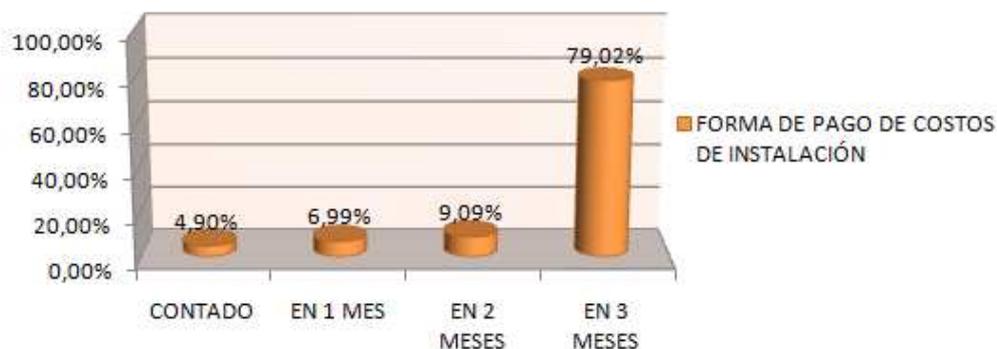
**4) ¿CÓMO ESTARÍA DISPUESTO A PAGAR EL VALOR FIJADO POR COSTOS DE INSTALACIÓN DEL SERVICIO DE INTERNET?**

CATEGORÍA	CANTIDAD	PORCENTAJE
CONTADO	7	4.90%
EN 1 MES	10	6.99%
EN 2 MESES	13	9.09%
EN 3 MESES	113	79.02%
<b>TOTAL</b>	<b>143</b>	<b>100%</b>

**Tabla III-17: Resultados Pregunta 4, cuestionario 2.**

Fuente: Encuesta 2

Elaborado por: Autores de Tesis



**Figura III-27: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 4, cuestionario 2.**

**Interpretación:**

Un 79.02% de las personas prefieren diferir el pago a 3 meses, un 9.09% manifiesta su deseo de diferir a 2 meses, un 6.99% expresa diferir el pago a 1 mes mientras que, solo un 4.9% prefiere el pago inmediato del rubro costos de instalación.

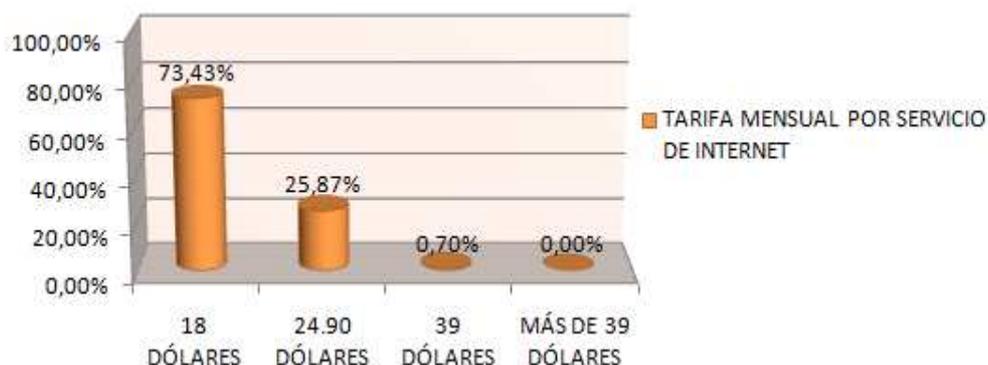
**5) ¿CUÁNTO ESTARÍA DISPUESTO A PAGAR MENSUALMENTE POR LOS SERVICIOS DE INTERNET?**

CATEGORÍA	CANTIDAD	PORCENTAJE
18 DÓLARES	105	73.43%
24.90 DÓLARES	37	25.87%
39 DÓLARES	1	0.70%
MÁS DE 39 DÓLARES	0	0.00%
<b>TOTAL</b>	<b>143</b>	<b>100%</b>

**Tabla III-18: Resultados Pregunta 5, cuestionario 2.**

Fuente: Encuesta 2

Elaborado por: Autores de Tesis



**Figura III-28: Representación gráfica de los resultados de la Pregunta 5, cuestionario 2.**

**Interpretación:**

El 73.43% de las personas que desean contar con los servicios de internet que brinda la empresa CNT S.A. aspiran contar con el plan FAST BOY 300x150 Kbps cuyo costo es de 18 dólares, el 25.87% expresan contratar el plan FAST BOY 500x150 Kbps cuyo costo es de 24.90 dólares, solo el 0.70% manifiestan su deseo de contratar el plan FAST BOY 768x256 Kbps cuyo costo es de 39 dólares.

Ninguna persona ha expresado su deseo de contratar algún plan de costo superior a los 39 dólares, aunque la empresa si ofrece planes de mayor coste.

**3.5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

Considerando que el total de la población asciende a 586 abonados lo cual debería corresponder a la capacidad total de los armarios pertenecientes al AMG de Pompeya y, de acuerdo a los resultados de las encuestas (ver **Anexo 1**) realizadas, la demanda insatisfecha se presenta de la siguiente manera:

**D.I. = 51.88%** Para el servicio de telefonía fija

**D.I. = 24.40%** Para el servicio de Internet

Por lo tanto, la Demanda Insatisfecha para TELEFONÍA FIJA (líneas telefónicas nuevas) es de

304 abonados (51.88% de 586) y, la Demanda Insatisfecha para el servicio de INTERNET es de 143 abonados (24.40% de un universo de 586 ó 47.04% de un universo de 304), tal como se muestra en la **Tabla III-19**.

COMUNIDAD	POBLACIÓN	DEMANDA INSATISFECHA DE TELEFONÍA	DEMANDA INSATISFECHA DE INTERNET
Pompeya	180	113	48
Flores	216	94	87
Cuello Loma	62	17	2
Tambido Quinchahuan	93	68	6
Quinchahuan	35	12	0
<b>TOTAL</b>	<b>586</b>	<b>304</b>	<b>143</b>
<b>TOTAL EN %</b>	<b>100%</b>	<b>51.88%</b> (del total del universo encuestado)	<b>47.04%</b> (del total de demanda insatisfecha de telefonía)

**Tabla III-19: Demanda para telefonía (voz) e internet (datos) en el sector de Pompeya.**

### 3.6 COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS Y COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

Dentro del “Diseño de Servicio de Telecomunicaciones para la población de Pompeya”, se planteó realizar un estudio comparativo entre dos alternativas de enlace como son: enlace vía Microonda y enlace vía Fibra Óptica; para la determinación del enlace óptimo se realizó una descripción característica de las variables más relevantes tanto a lo correspondiente a microondas como a la fibra óptica, de esta manera en esta sección se valorará de manera cualitativa para más tarde comprobar la hipótesis mediante el método *chi cuadrado* en base a la variable independiente, dependiente y a sus respectivos indicadores.

### 3.6.1 Sistema Hipotético

#### 3.6.1.1 Hipótesis de la investigación

Mediante el “Diseño de Servicio de Telecomunicaciones para la población de Pompeya, utilizando el estudio comparativo entre un enlace de transmisión vía Fibra Óptica y un enlace vía Microonda” se determinará la mejor alternativa para la implementación del servicio de telecomunicaciones para la comunidad.

#### 3.6.1.2 Operacionalización de las variables

En las **Tabla III-20** se presenta la operacionalización conceptual y metodológica de las variables, las mismas que se han identificado de acuerdo a la hipótesis.

VARIABLE	TIPO	DEFINICIÓN
1. Estudio comparativo entre un enlace de transmisión vía Fibra Óptica y un enlace vía Microonda	<i>Independiente</i>	Estudio para enlace de transmisión
2. Seguridad	<i>Dependiente</i>	Representa el grado de confiabilidad de las fuentes de información al momento de transmitir y recibir paquetes en la red evitando la pérdida o robo de información.
3. Topología	<i>Dependiente</i>	Representa la forma en que están interconectados los enlaces
4. Escalabilidad	<i>Dependiente</i>	Representa la habilidad de extender el margen de operaciones sin perder la calidad.

**Tabla III-20: Operacionalización conceptual de las variables.**

### 3.6.1.3 Operacionalización metodológica

VARIABLE	INDICADORES	TÉCNICAS	Fuente de Verificación
1. Estudio comparativo entre un enlace de transmisión vía Fibra Óptica y un enlace vía Microonda	i1. Costos  i2. Ancho de banda	Observación de campo  Recopilación de información	Información bibliográfica (Libros, Internet, Tesis)

**Tabla III-21: Operacionalización Metodológica de la variable independiente.**

VARIABLE	INDICADORES	TÉCNICAS	Fuente de Verificación
2. Seguridad	i3. Alta  i4. Baja	Observación de campo  Recopilación de información	Información bibliográfica (Libros, Internet, Tesis)

**Tabla III-22: Operacionalización Metodológica de la variable dependiente CONFIABILIDAD.**

VARIABLE	INDICADORES	TÉCNICAS	Fuente de Verificación
V3. Topología	i5. Punto a Punto  i6. Multipunto	Observación de campo  Recopilación de información	Información bibliográfica (Libros, Internet, Tesis)

**Tabla III-23: Operacionalización Metodológica de la variable dependiente TOPOLOGIA.**

Variable	Indicadores	Técnica	Fuente de Verificación
V4. Escalabilidad	i7. Alta	Observación de campo	Información bibliográfica (Libros, Internet, Tesis)
	i8. Baja	Recopilación de información	

**Tabla III-24: Operacionalización Metodológica de la variable dependiente ESCALABILIDAD.**

#### 3.6.1.4 Descripción de las variables y sus respectivos indicadores

Para el estudio comparativo entre un enlace de transmisión vía fibra óptica y un enlace vía microonda varios indicadores servirán de base para comparar tales tecnologías:

**VARIABLE 1.** *Estudio comparativo entre un enlace de transmisión vía Fibra Óptica y un enlace vía Microonda*

##### Indicadores de la VARIABLE 1:

- **i1. Costos**, la fibra óptica presenta costos más elevados en comparación a los equipos de radio, esto es debido a sus características, tecnología y tiempo de vida útil.
- **i2. Ancho de banda**, al ser dos enlaces diferentes para el servicio de telecomunicaciones se va tener diferentes anchos de banda; por características propias del medio de transmisión, la fibra óptica ofrece un mayor ancho de banda en relación a las comunicaciones vía microonda.

## **VARIABLE 2. Seguridad**

### **Indicadores de la VARIABLE 2:**

- **i3. Alta**, avaliza que la información no tenga interferencia, robo, ruido, perdidas, etc. para lo cual mayor seguridad significa garantizar que la información enviada o recibida sea la correcta y eficaz. En términos de seguridad fibra óptica ofrece mejores prestaciones que las microondas.
- **i4. Baja**, involucra que la información tenga interferencia, robo, ruido, perdidas.etc para lo cual menor seguridad significa que no puede garantizar integridad en la información.

## **VARIABLE 3. Topología**

### **Indicadores de la VARIABLE 3:**

- **i5. Punto a punto**, indica la forma en que están interconectados dos nodos en un enlace. Tanto enlaces de fibra óptica como enlaces de microonda permite éste tipo de topología.
- **i6. Multipunto**, indica la forma en que están interconectados un nodo con varios nodos en un enlace siendo el primero el nodo principal. También soportado por los enlaces vía microonda.

## **VARIABLE 4. Escalabilidad**

### **Indicadores de la VARIABLE 4:**

- **i7. Alta**, los enlaces vía fibra óptica tienen una mayor escalabilidad en relación a los enlaces vía microonda, porque permite expandir la red fácilmente hasta un máximo de 64 STM1.

- **i8. Baja**, los enlaces vía microondas solo brindan una escalabilidad máxima de hasta un STM1.

### 3.6.2 Estudio comparativo

#### 3.6.2.1 Población y Muestra

La *población* en éste estudio está compuesta por todos los medios de transmisión disponibles para las redes de telecomunicaciones.

Para el estudio se utilizará como *muestra* la fibra óptica y las Microondas.

#### 3.6.2.2 Estudio comparativo de la variable independiente

Para la valoración cualitativa de los indicadores y de las variables, se utilizará la siguiente calificación: cuando la respuesta es positiva se utilizó un valor entre 3 y 5 y, para respuestas negativas se utilizaron valor entre 0 y 2, (ver **Tabla III-25**).

PUNTAJE	EQUIVALENCIA
0	Malo, no
1	Min, si
2	Menos costoso, Aceptable
3	Bueno
4	Más costoso, Muy bueno
5	Excelente, Máximo

**Tabla III-25: Asignación de equivalencias para la ponderación.**

Fuente: Variables de Estudio del Proyecto Pompeya

Elaborado Por: Autores de Tesis

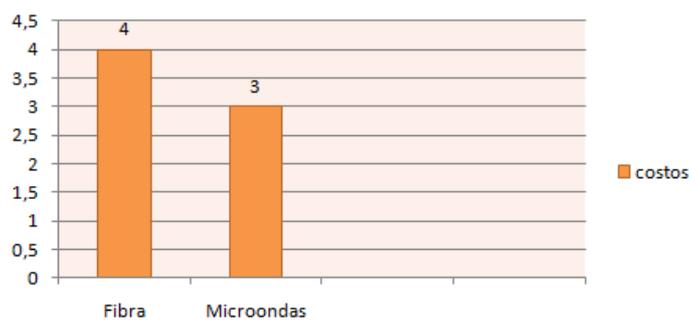
- Indicador 1, **costos**

	Fibra Óptica	Microondas
Costo	4	3

**Tabla III-26: Ponderación de costos.**

Fuente: Variables de Estudio del Proyecto Pompeya

Elaborado Por: Autores de Tesis



**Figura III-29: Representación gráfica de la Tabla III-26.**

**Interpretación:**

La **Figura II-29** muestra que el costo de un enlace de fibra óptica es relativamente superior a un enlace vía microonda.

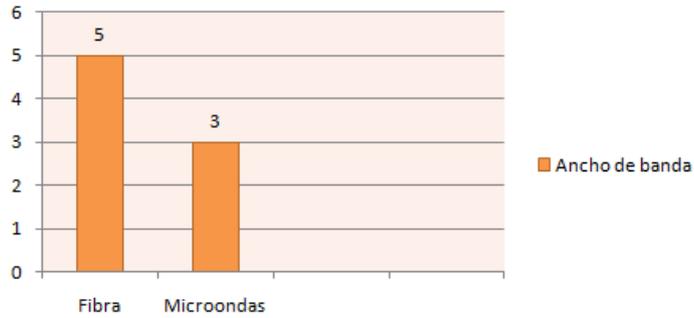
- Indicador 2, **ancho de banda**

	Fibra Óptica	Microondas
Ancho de banda	5	3

**Tabla III-27: Ponderación del Ancho de banda.**

Fuente: Variables de Estudio del Proyecto Pompeya

Elaborado Por: Autores de Tesis



**Figura III-30: Representación gráfica de la Tabla III-27.**

**Interpretación:**

La **Figura III-30** refleja que los enlaces vía fibra óptica garantizan un mayor ancho de banda en relación a los enlaces vía microondas.

**3.6.2.3 Estudio comparativo de la variable dependiente**

Para el análisis de las variables dependientes se obtuvo los datos, características específicas y técnicas de los equipos utilizados, también de Información bibliográfica (Libros, Internet, Tesis).

**VARIABLE 2. Seguridad**

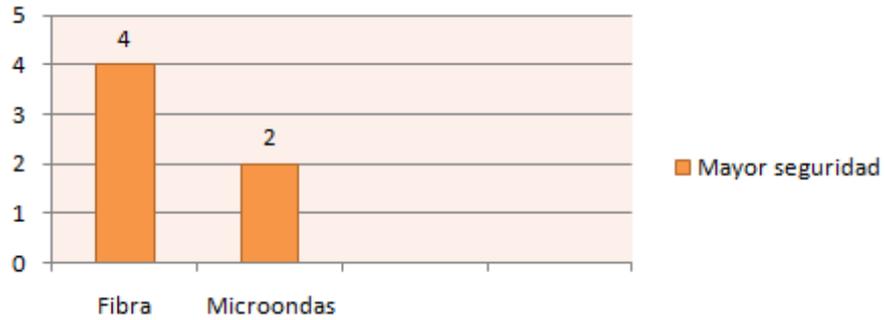
- Indicador3, Seguridad Alta

	Fibra Óptica	Microondas
Seguridad Alta	4	2

**Tabla III-28: Ponderación del nivel de Seguridad Alto.**

Fuente: Variables de Estudio del Proyecto Pompeya

Elaborado Por: Autores de Tesis



**Figura III-31: Representación gráfica de la Tabla III-28.**

**Interpretación:**

La **Figura III-31** expresa que los enlaces basados en fibra óptica brindan mayor seguridad que los enlaces vía microonda. Por lo tanto el Indicador 4 (*Seguridad Baja*) es asignado a la alternativa de enlace vía microonda.

**VARIABLE 3. Topología**

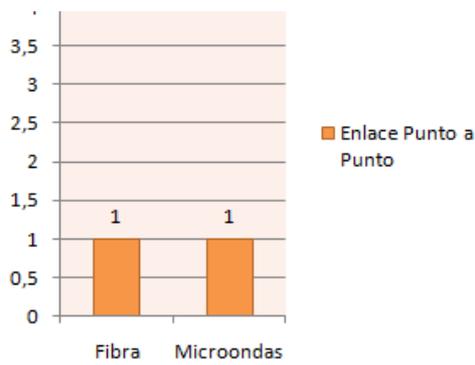
- Indicador 5, **punto a punto**

	Fibra Óptica	Microondas
Punto a Punto	1	1

**Tabla III-29: Ponderación considerando la Topología Punto a Punto.**

Fuente: Variables de Estudio del Proyecto Pompeya

Elaborado Por: Autores de Tesis



**Figura III-32: Representación gráfica de la Tabla III-29.**

**Interpretación:**

La **Figura III-32** nos muestra que tanto en enlaces por microondas como por fibra óptica existe la misma proyección para establecer un enlace punto a punto.

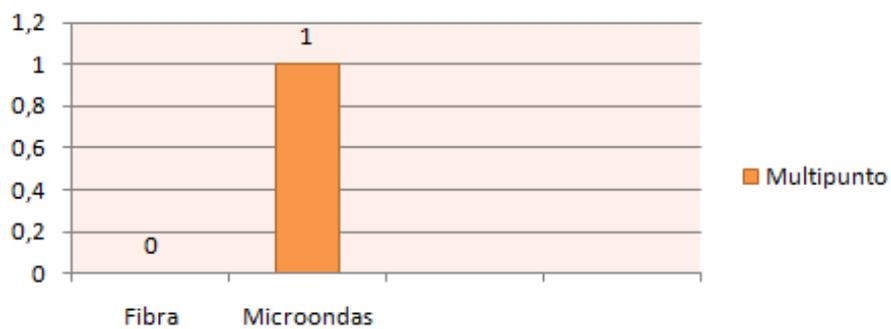
- Indicador 6, **multipunto**

	Fibra Óptica	Microondas
Multipunto	0	1

**Tabla III-30: Ponderación considerando la Topología Multipunto.**

Fuente: Variables de Estudio del Proyecto Pompeya

Elaborado Por: Autores de Tesis



**Figura III-33: Representación gráfica de la Tabla III-30.**

**Interpretación:**

La **Figura III-33** visualiza claramente que solo los enlace vía microonda permiten establecer una topología multipunto.

**VARIABLE 4. Escalabilidad**

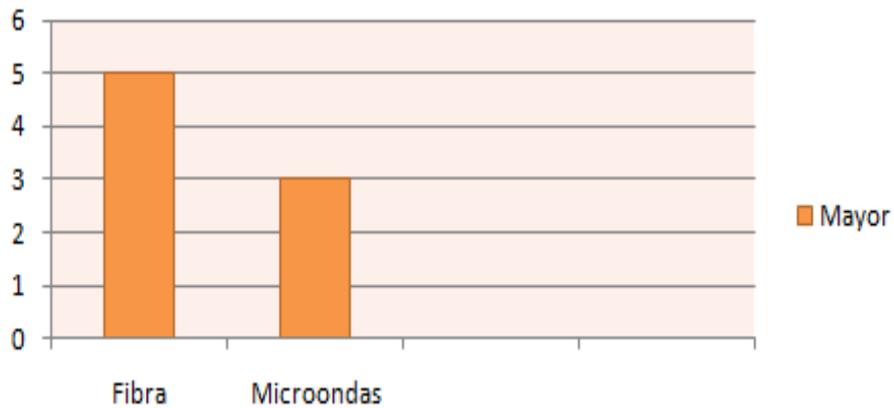
- Indicador 6, **alta**

	Fibra Óptica	Microondas
Escalabilidad Alta	5	3

**Tabla III-31: Ponderación considerando niveles de escalabilidad alta.**

Fuente: Variables de Estudio del Proyecto Pompeya

Elaborado Por: Autores de Tesis



**Figura III-34: Representación gráfica de la Tabla III-31.**

**Interpretación:**

La **Figura III-34** nos muestra que por sus grandes características, especificaciones y ventajas que presenta la fibra óptica Porque puede tener una escalabilidad mucho mayor ya que en los

equipos de fibra óptica se puede aplicar capacidades como por ejemplo 64 STM1. A diferencia de los equipos utilizados para enlaces vía microonda que permite solo expandirse hasta la capacidad de un STM1.

### 3.6.2.4 Puntajes totales

A continuación tenemos los resultados generales de las variables dependientes de los valores obtenidos para el estudio comparativo de los protocolo de enrutamiento para redes móviles AODV, AOMDV, DSR y OLSR

<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>FIBRA ÓPTICA</b>	<b>MICROONDAS</b>
<i>SEGURIDAD</i>	<b>i3</b>	4	2
	<b>i4</b>	4	2
<b>Total VARIABLE 2</b>		<b>8</b>	<b>4</b>
<i>TOPOLOGIA</i>	<b>i5</b>	1	1
	<b>i6</b>	0	1
<b>Total VARIABLE 3</b>		<b>1</b>	<b>2</b>
<i>ESCALABILIDAD</i>	<b>i7</b>	5	3
	<b>i8</b>	5	3
<b>Total VARIABLE 4</b>		<b>10</b>	<b>6</b>
<b>TOTAL</b>		<b>19</b>	<b>12</b>

**Tabla III-32: Tabla General de Resultados.**

Fuente: Estudio Técnico del Proyecto Pompeya

Elaborado Por: Autores de Tesis

Como podemos observar en los resultados, el enlace vía Fibra Óptica alcanzó 19 puntos mientras que, el enlace vía Microondas logró un cómputo de 12 unidades.

Los resultados expuestos en la **Tabla III-32** permite generar como conclusión que, el enlace más óptimo para el servicio de telecomunicaciones para la población de Pompeya es aquel que utilice como medio de transmisión la fibra óptica.

### 3.6.3 Comprobación de la Hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis planteada se empleó el método estadístico *Chi Cuadrado* utilizando los datos que se obtuvo en el estudio comparativo entre Fibra Óptica y Microondas.

Hipótesis para chi cuadrado:

**Hi:** hipótesis de la investigación

**Ho:** hipótesis nula

**Hi:** Mediante el “Diseño de Servicio de Telecomunicaciones para la población de Pompeya, utilizando el estudio comparativo entre un enlace de transmisión vía Fibra Óptica y un enlace vía Microonda” se determinará como la mejor alternativa para la implementación del servicio de telecomunicaciones para la comunidad de Pompeya el enlace vía fibra óptica.

**Ho:** Mediante el “Diseño de Servicio de Telecomunicaciones para la población de Pompeya, utilizando el estudio comparativo entre un enlace de transmisión vía Fibra Óptica y un enlace vía Microonda” *no* se determinará como la mejor alternativa para la implementación del servicio de telecomunicaciones para la comunidad de Pompeya el enlace vía fibra óptica.

En la **Tabla III-32** se puede observar los valores de las variables estimadas en el estudio.

- **Variable independiente:** Estudio comparativo entre un enlace de transmisión vía Fibra Óptica y un enlace vía Microonda.

- **Variables independientes:** Seguridad, Topología, Escalabilidad

**Frecuencias Observadas:**

Las frecuencias observadas se encuentran sumando los indicadores de cada variable dependiente.

	<b>FIBRA ÓPTICA</b>	<b>MICROONDAS</b>	<b>Sumatoria de cada variable</b>
<i>Seguridad</i>	8	4	12
<i>Topología</i>	1	2	3
<i>Escalabilidad</i>	10	6	16
<b>TOTAL</b>	<b>19</b>	<b>12</b>	<b>31</b>

**Tabla III-33: Frecuencias observadas (Tabla de contingencia).**

Fuente: Estudio Técnico del Proyecto Pompeya

Elaborado Por: Autores de Tesis

**Frecuencias Esperadas:**

Las frecuencias esperadas de cada celda, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$fe = \frac{(total\_de\_fila)(total\_de\_columna)}{N}$$

Donde *N* es el número total de frecuencias observadas

	<b>Fibra Óptica</b>	<b>Microondas</b>
<i>Seguridad</i>	7.35483871	4.64516127
<i>Topología</i>	1.838709677	1.161290323
<i>Escalabilidad</i>	9.806451613	6.193548387
<b>TOTAL</b>	<b>19</b>	<b>11.9999998</b>

**Tabla III-34: Frecuencias esperadas.**

Fuente: Estudio Técnico del Proyecto Pompeya

Elaborado Por: Autores de Tesis

Para encontrar el valor de *chi cuadrado* se utiliza la siguiente fórmula:

$$X^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E}$$

O: Frecuencia observada en cada celda

E: Frecuencia esperada en cada celda

Observado(O)	Esperado(E)	(O-E)	(O - E) <sup>2</sup>	{(O - E) <sup>2</sup> /E}
8	7.35483871	0.64516129	0.4162330901	0.05659309558
4	4.64516127	-0.64516127	0.4162330643	0.08960572951
1	1.838709677	-0.838709677	0.7034339223	0.3825693263
2	1.161290323	0.838709677	0.7034339223	0.6057347662
10	9.806451613	0.193548387	0.03746097811	3.820033952
6	6.193548387	-0.193548387	0.03746097811	6.048387091
				$X^2 = 10.98$

**Tabla III-35: Calculo de Chi Cuadrado**

Fuente: Estudio Técnico del Proyecto Pompeya

Elaborado Por: Autores de Tesis

**Grados de libertad:**

Para poder realizar la comparación del resultado de chi cuadrado debemos encontrar los grados de libertad de nuestra **Tabla III-33**, para ello tenemos la siguiente fórmula:

$$GI = (f - 1)(c - 1)$$

Donde:

$f$  = es el número de filas de la tabla de contingencia (**Tabla III – 33**)

$c$  = número de columnas de la tabla de contingencia

$$GI = (3 - 1)(2 - 1)$$

$$GI = 2$$

De la tabla de distribución de  $X^2$  que se encuentra en el **Anexo 2**, podemos decir que con un 95% de seguridad y con 2 grados de libertad el valor de crítico de chi cuadrado es 5,991.

#### **Criterio de decisión**

- Si  $X^2$  calculado es mayor a  $X_{\alpha}^2$  (Valor crítico) de la tabla de distribución se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y por lo tanto se acepta la hipótesis de Investigación.
- Si  $X^2$  calculado es menor a  $X_{\alpha}^2$  (Valor crítico) de la tabla de distribución se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y por lo tanto se rechaza la hipótesis de Investigación.

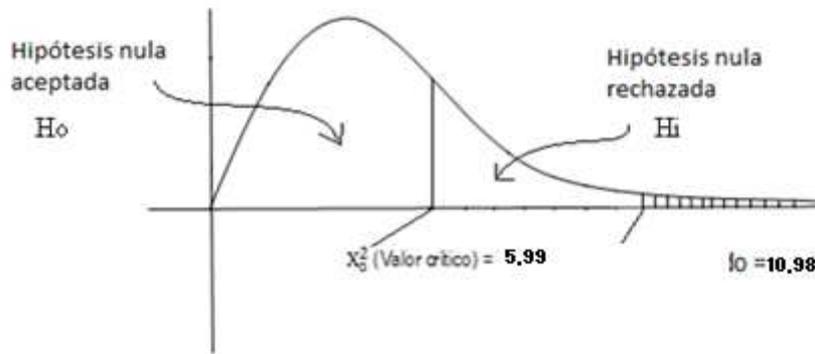
Expresando con los valores obtenidos en éste estudio se tiene:

$$X^2 \text{ Calculado} = 10.98$$

$$X_{\alpha}^2 \text{ (Valor crítico)} = 5,991$$

$$10.98 > 5,991$$

Por lo tanto:  $X^2 > X_{\alpha}^2$



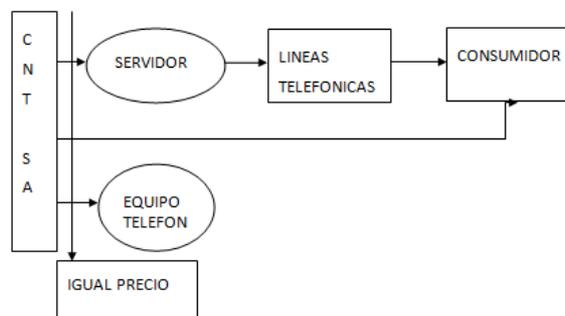
**Figura III-35: Gráfico chi cuadrado.**

De esta manera aceptamos la hipótesis de la investigación ( $H_1$ ) que indica que: Mediante el “Diseño de Servicio de Telecomunicaciones para la población de Pompeya, utilizando el estudio comparativo entre un enlace de transmisión vía Fibra Óptica y un enlace vía Microonda” se determinará como la mejor alternativa para la implementación del servicio de telecomunicaciones para la comunidad de Pompeya el enlace vía fibra óptica.

### 3.7 ANALISIS DE COMERCIALIZACIÓN

El análisis de comercialización sirve para determinar los canales y medios responsables del mercado y ventas de líneas telefónicas.

El canal de distribución a utilizar, es un canal directo entre la empresa CNT S.A y el abonado.



**Figura III-36: Diagrama de comercialización de CNT S.A.**

En la actualidad CNT S.A posee un plan de comercialización y una estructura administrativa de ventas en el cual desarrolla y vende sus productos y servicios de tal forma que estén al alcance de un mayor número de abonados, con buena calidad y confiabilidad.

## CAPITULO IV

### DISEÑO DE LA RED DE COMUNICACIÓN CON FIBRA ÓPTICA Y MICROONDAS

#### 4.1 ANÁLISIS Y PROYECCIÓN DEL TRÁFICO

El tráfico telefónico determina el flujo de ocupaciones o llamadas simultáneas durante un período de tiempo dado. La unidad de tráfico es el Erlang, que significa la cantidad de tiempo de ocupación por hora en un grupo de canales.

Para calcular el tráfico se utiliza la siguiente ecuación:

$$A = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n ti$$

Siendo:

*A = tráfico total*

$t_i$  = tiempo de duración de la llamada

$T$  = período de observación

$n$  = número total de ocupación en el grupo de canales

Si se tiene el tiempo promedio de las ocupaciones, entonces la ecuación anterior se reduce a:

$$A = \frac{1}{T} * (n * tm)$$

Siendo:

$tm$  = tiempo promedio de ocupación por abonados

$n$  = número de abonados

Sin embargo basados en el estudio de mercado de Pompeya y de las poblaciones aledañas, se estimo la demanda presente y futura que servirá de base para calcular los requerimientos de tráfico con proyección a futuro del sistema.

Para calcular el tráfico y asumiendo para las zonas en estudio, los siguientes parámetros para cada abonado:  $T= 60$  min,  $tm= 4$  min,  $n= 1$  y, reemplazando en la formula tenemos:

$$A = \frac{1}{60} * (1 * 4)$$

$$A = 0.0666 \text{ Erlang}$$

De donde se obtiene que la ocupación media de un abonado en el sector donde daremos el servicio de telecomunicaciones es de aproximadamente 0.07 Erlang.

A continuación en la **Tabla IV-36** se muestra el trafico generado y el número de canales necesarios por población de acuerdo al promedio de ocupación estimado por abonado y para un grado de servicio del 1%, es decir que de cada 100 llamadas que realicen los abonados, máximo se perderá una de ellas.

COMUNIDAD	POBLACIÓN	DI	ERLANGS	NUMERO DE CANALES
Pompeya	180	113	11.988	21
Flores	216	94	14.386	24
Cuello Loma	62	17	4.1292	11
Tambido Quinchahuan	93	68	6.194	14
Quinchahuan	35	12	2.331	8
<b>TOTAL</b>	<b>586</b>	<b>304</b>	<b>39.028</b>	<b>78</b>

**Tabla IV-36: Número de canales y tráfico generado para cada población.**

Fuente: Estudio Técnico y de Mercado del Proyecto Telefónico de Pompeya

Elaborado por: Autores de Tesis

En el **Anexo 3** se puede apreciar los valores asignados para la probabilidad de pérdidas Erlang.

## **4.2 DISEÑO DE LA RED USANDO ENLACE DE MICROONDAS**

Para el diseño del enlace inalámbrico vía microondas se usó el paquete computacional Radio Mobile que permite simular el comportamiento de un enlace inalámbrico en base a la proporción de información geográfica de los puntos a enlazar, debiendo especificar además los parámetros técnicos de los equipos a utilizar.

### **4.2.1 Radio Mobile**

#### **4.2.1.1 Características del software Radio Mobile**

- Es de distribución libre y compatible con las distintas versiones del sistema operativo Windows.
- Generación de modelos de terreno a partir de datos del modelo digital del terreno. Utilización del modelo Longley-Rice para los cálculos de propagación.

- Fusionado de imágenes, lo que permite la visualización de distintas capas con los datos geográficos del terreno.

El software puede descargarse de forma gratuita desde la siguiente dirección web: <http://www.cplus.org/rmw/download.html>

#### **4.2.1.2 Modelo de propagación**

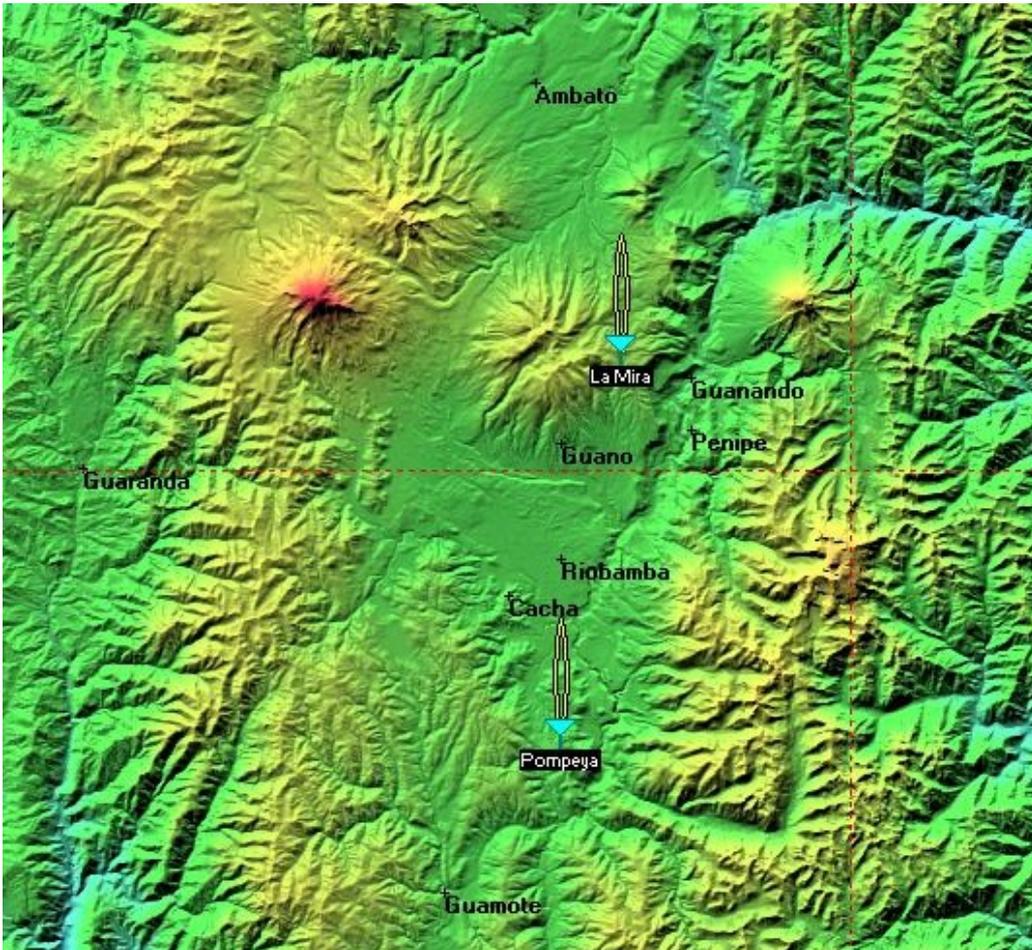
Radio Mobile usa el modelo de propagación Longley-Rice, el mismo que también es llamado ITM (Irregular Terrain Model). Éste modelo se basa en la teoría del electromagnetismo y el análisis estadístico de las características del terreno y los parámetros del radioenlace.

El modelo además predice la atenuación media de una señal de radio que se propaga por un entorno troposférico sobre terreno irregular. El modelo fue desarrollado para frecuencias comprendidas entre los 20 MHz y los 40 GHz y, para distancias entre 1 y 2000 Km.

#### **4.2.2 Estudio y Diseño del Radioenlace**

Además de establecer el tráfico que va a manejar el radioenlace, también se deben definir ciertos parámetros adicionales que influyen en el diseño como: análisis geográfico de las estaciones a enlazar, estudio topográfico del lugar, cálculos de pérdidas y características de propagación, especificaciones técnicas para los enlaces, para finalmente determinar los equipos que utilizará el radioenlace.

En la **Figura IV-37** se muestra el bosquejo del enlace inalámbrico a diseñar generado por el software Radio Mobile.



**Figura IV-37: Topográfica para el enlace Pompeya-La Mira.**

#### **4.2.2.1 Análisis geográfico y características del terreno de los puntos a enlazar**

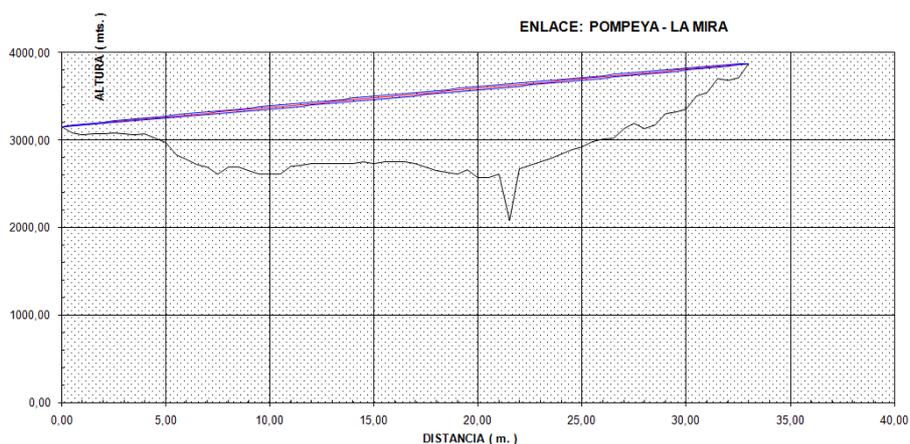
La población de Pompeya se encuentra ubicada en la Provincia de Chimborazo, cantón Riobamba, pertenece a la parroquia rural Flores y, siendo sus coordenadas geográficas  $1^{\circ} 48' 25,9''$  de latitud sur y  $78^{\circ} 37' 46,7''$  longitud oeste, su altitud es 3154 msnm. Sus vías de acceso son de tierra y, se encuentran en condiciones regulares. Aquí CNT S.A. dispone de un espacio de terreno cedido en comodato para que cimente su infraestructura.

El cerro La Mira pertenece al cantón Guano, provincia de Chimborazo y, se encuentra ubicado entre los límites colindantes del cantón Guano y el cantón Quero perteneciente a la provincia de Tungurahua. Geográficamente se encuentra a  $1^{\circ} 30' 32,7''$  de latitud sur y a  $78^{\circ} 35' 2,4''$  de longitud oeste a una altitud de 3876 msnm. Sus accesos son de tierra y se encuentran en mal

estado. Éste es el punto estratégico para CNT S.A. Chimborazo ya que desde aquí se enlaza al sistema nacional de conexión.

La trayectoria del enlace se encuentra libre de obstáculos, es decir, tiene línea de vista directa. La distancia entre los puntos a enlazar es de 33 Km. La altura a la que se debe colocar la antena en La Mira es a 28 metros del nivel suelo mientras que, en Pompeya se debe ubicar a 4 metros con respecto al mismo nivel.

Con el diseño realizado en Radio Mobile se generó el siguiente gráfico (**Figura IV-38**) donde se puede observar claramente la línea de vista entre los lugares a enlazar teniendo totalmente despejada la primera zona de Fresnel<sup>21</sup>.



**Figura IV-38: Dibujo del Perfil del Trayecto Pompeya – La Mira.**

#### 4.2.2.2 Cálculos de propagación y simulación del enlace en Radio Mobile

Los parámetros con los cuales se realizó la simulación del radioenlace se muestran en la **Tabla IV-37**. Éstos fueron determinados de acuerdo a las características geográficas, topográficas y ambientales de cada una de los puntos a enlazar.

---

<sup>21</sup> Zona de Fresnel: es el espacio alrededor del eje de línea de vista que contribuye a la transferencia de potencia desde la fuente hacia el receptor, lo ideal es que no esté obstruida pero, basta despejar el 60%.

En la simulación del enlace se cuantifican las pérdidas generadas en el enlace debido a la propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio libre, perdidas por el entorno natural y las pérdidas generadas por conectores y líneas de conexión. Además, con el valor de potencia que indica la simulación se establece el margen de recepción mínimo que deberá tener el receptor.

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES
Frecuencia del enlace(f)	7.996 GHz
Longitud del vano(d1)	32.99 Km
Perdidas de acoplamiento	3 dB
Potencia de salida del transmisor(Ptx)	21 dBm
Margen de desvanecimiento nominal (FM <sub>nominal</sub> )	10 dB
Ganancia de la antena colocada en la Mira	32 dBi
Ganancia de la antena colocada en Pompeya	32 dBi

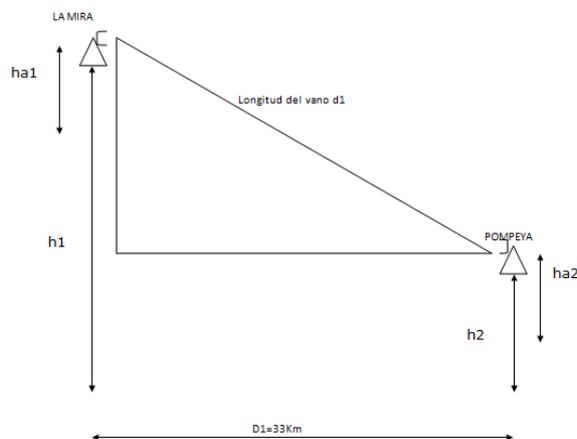
**Tabla IV-37: Especificaciones de diseño.**

Fuente: Estudio de campo y Cálculos de Diseño

Elaborado por: Autores de Tesis

Los cálculos realizados para el enlace de transmisión vía microondas para el proyecto de Pompeya son los siguientes:

### Longitud del vano (d1)



**Figura IV-39: Longitud del vano entre la Mira y Pompeya**

Para el cálculo de longitud del vano (d1) se empleó la siguiente ecuación:

$$d1 = \sqrt{(D1)^2 + [(h1 + ha1) - (h2 + ha2)]^2}$$

Donde:

*D1 = Distancia entre los puntos a conectar en el enlace en metros*

*h1 = Altura sobre el nivel del mar del punto uno*

*h2 = Altura sobre el nivel del mar del punto dos*

*ha1 = Altura a la que se debe fijar la antena en la torre del punto uno*

*ha2 = Altura a la que se debe fijar la antena en la torre del punto dos*

Entonces se tiene:

$$d1 = \sqrt{(33000)^2 + [(3876 + 28) - (3154 + 4)]^2}$$

$$d1 = 33,008Km$$

#### **Pérdida en trayectoria por el espacio libre (A<sub>0</sub>)**

La pérdida en trayectoria por el espacio libre es una cantidad técnica artificial que se originó debido a la manipulación de las ecuaciones de presupuesto de un enlace de comunicaciones, que deben tener determinado formato en el que se incluye la ganancia de la antena transmisora, la pérdida en trayectoria por el espacio libre y el área efectiva de la antena receptora.

$$A_0 = 92,4 + 20 \log f [GHz] + 20 \log d [Km]$$

$$A_0 = 92,4 + 20 \log (7,996) + 20 \log (33)$$

$$A_0 = 140.828 \text{ dB}$$

**Pérdidas totales que existen en el enlace Mira-Pompeya ( $A_t$ )**

Se emplea la siguiente ecuación:

$$A_t = A_0 + 2 A_B$$

Donde:

$A_0 =$  pérdidas en trayectoria por el espacio libre

$A_B =$  pérdidas de acoplamiento

Es decir:

$$A_t = 140.828 + 2 (3)$$

$$A_t = 146.828 \text{ dB}$$

**Margen de desvanecimiento nominal**

<b>Confiabilidad para un correcto desempeño del enlace en condiciones adversas al clima (%)</b>	<b>Margen de desvanecimiento (FM) dB</b>
90	10
99	20
99.9	30
99.99	40

**Tabla IV-38: Margen de desvanecimiento y porcentajes de confiabilidad.**

Fuente: Manual de Comunicaciones

Elaborado por: Autores de Tesis

Se utilizó un margen de desvanecimiento nominal (FM nominal) 90%, es decir 10dB.

**Potencia del Receptor ( $P_{Rx}$ )**

De la ecuación:

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - A_t$$

Se obtiene que:

$$P_{Rx} = 21 + 32 + 32 - 146.828$$

$$P_{Rx} = -61.828 \text{ dBm}$$

Para garantizar que la  $P_{Rx}$  es óptima se debe cumplir la siguiente condición:  $P_{Rx} \geq P_{UMB}$ . La potencia de umbral del receptor es dada por el fabricante del equipo que para éste caso es de -84.5 dBm.

Entonces la relación sería:  $-61.828 \text{ dBm} \geq -84.5 \text{ dBm}$

Pero, el margen de desvanecimiento neto tiene relación con la potencia de umbral del receptor ( $P_{UMB}$ ), según la siguiente igualdad:

$$FM_{neto} [\text{dBm}] \geq P_{Tx} - P_{UMB}$$

Por lo cual se tiene que:

$$FM_{neto} [\text{dBm}] = (-61.828) - (-84.5)$$

$$FM_{neto} = 22.67 [\text{dBm}]$$

Para saber si la señal del enlace entre La Mira y Pompeya utilizando dicha antena no se desvanecerá se realiza la siguiente relación:

$$P_{Rx} \geq P_{UMB} + FM_{nominal}$$

Entonces:

$$-61.828 \geq -84.5 + 10$$

$$-61.828 \geq -74.5$$

### **Ganancia del sistema ( $G_s$ )**

De la ecuación:

$$G_s = A_0 + FM_{nominal} + A_B - G_{Tx} - G_{Rx}$$

Donde:

$G_s$  = ganancia del sistema

$A_0$  = pérdidas en el espacio libre

$FM_{nominal}$  = margen de desvanecimiento

$A_B$  = pérdidas por acoplamiento

$G_{Tx}$  = ganancia de la antena de transmisión

$G_{Rx}$  = ganancia de la antena de recepción

Se obtiene que:

$$G_s = 140.828dB + 10dB + 3dB - 32dB - 32dB$$

$$G_s = 89.828dB$$

## **4.3 DISEÑO DE LA RED USANDO ENLACE DE FIBRA ÓPTICA.**

### **4.3.1 Criterios para el Diseño del enlace vía Fibra Óptica**

Para la optimización del enlace óptico se debe determinar claramente la cantidad y las características de la información a transmitir. Además, para el diseño de los enlaces de comunicación en fibra óptica es necesario establecer la velocidad de transmisión ( $V_{Tx}$ ) a manejar y la longitud del enlace (L) así como también los parámetros de longitud de onda, tipo de fibra óptica, fuentes y emisores ópticos.

Además, para el diseño también se deben considerar otros parámetros tales como:

- Tipo de modulación a usar.

- BER<sup>22</sup> del enlace, el mismo que determina el grado de fidelidad del enlace.
- Vida útil de los equipos.
- Costo total del sistema.
- Posibilidad de ampliaciones futuras.

#### **4.3.2 Diseño del enlace Licto - Pompeya**

##### **4.3.2.1 Ubicación geográfica**

La parroquia rural Licto se encuentra ubicada en la provincia de Chimborazo, en dirección sur-este de la ciudad de Riobamba, sus coordenadas son 1° 43' 46" de latitud sur y 78° 36' 38" de longitud a una altitud de 1269 msnm. Su vía de acceso desde Riobamba es asfaltado y, se encuentra en buen estado. Dispone de una red de telecomunicaciones vía microonda proporcionada por CNT S.A. y de una red de energía eléctrica de 110V a 60Hz.

La población de Pompeya se encuentra ubicada en la Provincia de Chimborazo Cantón Riobamba, pertenece a la parroquia Flores siendo sus coordenadas geográficas 1° 48' 25,9" de latitud sur y, 78° 37' 46,7" longitud oeste, su altitud es 3154 msnm.

##### **4.3.2.2 Selección de la ruta y análisis del tipo de cable a utilizar**

Para el diseño del enlace existen dos alternativas para el tendido del cable de fibra óptica:

- Ductos subterráneos.
- Tendido aéreo.

En el caso de ductos subterráneos surgen muchas complicaciones, la causa principal para no optar por ésta alternativa son los costos elevados relacionados a indemnizaciones por uso de suelo que se generaría, ya que por donde se debiera construir la red los terrenos poseen un alto grado de productividad por ende de plusvalía.

---

<sup>22</sup> BER (Bit Error Rate): relación que permite cuantificar la confiabilidad de un sistema de comunicación. Por ejemplo, un BER de 10<sup>-9</sup> indica que se aceptan un bit errado por cada 10<sup>9</sup> bits transmitidos.

Para la segunda opción (tendido aéreo) se propone seguir la vía que une Licto y Pompeya sobre la cual se tiene la presencia de postera perteneciente a la empresa eléctrica en gran parte del trayecto. Además, la instalación de la fibra, la localización y corrección de roturas del cable de fibra es mucho más sencilla que en la opción antes descrita lo que permite determinar que el tendido aéreo es la mejor opción para el diseño.

En el **Anexo 4** se detalla la ruta a seguir para el tendido de cable de fibra óptica.

En lo referente al cable de fibra óptica, en el mercado sobresalen tres tipos de cables aéreos:

- Cable OPGW, satisface los requerimientos de la CCITT, G.652 (fibras monomodo estándar) y G.655 (NZDSF: fibras monomodo de dispersión desplazada no nula). Su uso depende de factores como: tamaño de los vanos, condiciones ambientales, número de fibras, entre otras. Operan a temperaturas de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$  y sobre las ventanas de transmisión de 1310 y 1550 nm.
- Cable ADSS, es totalmente inmune a las interferencias electromagnéticas y no es susceptible a la caída de rayos. Se utiliza en distancias medias y largas. Es mucho más barato y además satisface los mismos requerimientos que el cable OPGW. Es sensible a radiación ultravioleta y su cubierta externa puede llegar a dañarse.
- Cable Figura en 8, al igual que los dos tipos anteriores, soporta las recomendaciones G.652 y G.655 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. Es de estructura holgada y, posee adosado un cable guía usualmente de acero con el fin de soportar fuerzas externas. Se recomienda su empleo en tendidos aéreos de vanos largos.

En la **Tabla IV-39** se muestra un análisis comparativo entre las características de estos tres tipos de cables aéreos.

CARACTERÍSTICAS	ADSS	OPGW	Figura 8
Confiabilidad	ALTA	ALTA	ALTA
Sobrecarga estructural	PEQUEÑA	CONSIDERABLE	CONSIDERABLE
Inmunidad ante caída de rayos	TOTAL	NINGUNA	TOTAL
Instalación	SIMPLE	COMPLEJO	SIMPLE
Facilidad de mantenimiento	FÁCIL	DIFÍCIL	FÁCIL
Costo del cable	BAJO	ALTO	MEDIO
Costo de instalación	BAJO	ALTO	MEDIO
Acceso a fibras ópticas	FÁCIL	DIFÍCIL	FÁCIL

**Tabla IV-39: Comparación entre cables ADSS, OPGW y Figura 8.**

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/tiposfibra>

Elaborado por: Autores de Tesis

Luego de hacer un análisis minucioso de las características de estos tipos de cable de fibra óptica de tendido aéreo y, considerando los vanos existentes y proyectados (menores a 100 m.) en el proyecto, se escogió el cable ADSS como el más conveniente para el enlace debiendo utilizarse herrajes de suspensión y retención para sujetar el cable a la postería.

#### **4.3.2.3 Requerimientos del enlace de fibra óptica**

Considerando que el proyecto servirá para la transmisión de voz y datos en el sector rural, se estima requerimientos de velocidad de transmisión bajos; sin embargo, pensando brindar a futuro nuevos tipos de servicios se sobredimensiona el diseño especificando la utilización de fibra óptica monomodo.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones en el ámbito de normalización (UIT-T) ha publicado dos recomendaciones para tendidos aéreos de fibra óptica monomodo que son:

- *G.652*, describe las características geométricas, mecánicas y de transmisión de un cable monomodo diseñado para transmitir en la región de los 1310 nm de longitud de onda en donde se tiene dispersión nula. Es ideal para transmitir en altas velocidades en distancias medias y largas. Cuenta con cuatro variaciones: G.652A (especificaciones para aplicaciones que corren sobre sistemas de hasta STM-16), G.652B (especificaciones para aplicaciones que corren sobre sistemas de hasta STM-64), G.652C (similar a G.652A pero con longitudes de onda de 1360 hasta 1530 nm) y, G.652D (similar a G.652B pero con longitudes de onda de 1360 hasta 1530 nm).
- *G.655*, describe a las fibras monomodo en las cuales el punto de dispersión cromática nula (Non Zero Dispersion Shifted Fiber, NZDSF) es desplazado a longitudes de onda por encima o por debajo de los 1550 nm. Son recomendadas para enlace de largas distancias.

Como el enlace de fibra óptica requerido en el proyecto es de mediano alcance resulta suficiente la utilización de un cable monomodo que cumpla con la recomendación G.652D. En enlaces con éste tipo de fibra no se necesita la inclusión de regeneradores de señal en el trayecto. Esta fibra es llamada también como de pico de agua cero (ZWP, Zero Water Peak) ya que los picos de atenuación causados por la humedad se eliminan casi en su totalidad.

En el **Anexo 5**, se presentan los requerimientos especificados por la UIT-T en la recomendación G.652D para cables de fibra óptica monomodo.

#### **4.3.2.4 Determinación de los parámetros técnicos de los equipos**

Considerando las características del enlace, la UIT-T elaboró la recomendación G.959.1<sup>23</sup> para el establecimiento de los parámetros técnicos requeridos por los equipos que formarán parte del enlace de 2.5 Gbps, 10 Gbps y 40 Gbps.

---

<sup>23</sup> <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.959.1/es>

Por lo antes expuesto, se trabajará sobre el interfaz P1S1-1D1<sup>24</sup> de corto alcance cuyos parámetros importantes se indican a continuación, (ver **Tabla IV-40**):

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	VALORES
Velocidad binaria	Gbps	2.5
Tipo de fibra	-	G.652.D
<b>Transmisor S</b>		
Tipo de transmisor	-	SLM <sup>25</sup>
Potencia máxima	dBm	0
Potencia mínima	dBm	-5
<b>Tramo óptico entre el transmisor S y el receptor R</b>		
Atenuación máxima	dB	11
Atenuación mínima	dB	0
Máxima dispersión cromática en el límite superior de longitud de onda	ps/nm	± 140
<b>Receptor R</b>		
Máxima potencia de entrada	dBm	0
Sensibilidad mínima	dBm	-26
BER	-	10 <sup>-12</sup>

**Tabla IV-40: Especificaciones técnicas para el interfaz óptico P1S1-1D1.**

<sup>24</sup> P1S1-1D1: interfaz óptico recomendado por la UIT-T G.959.1 para enlaces de fibra óptica que operan en los 1310 nm y cumplen con la recomendación G.652

<sup>25</sup> SLM: láser de modo mono longitudinal

Fuente: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.959.1/en>

Elaborado por: Autores de tesis

#### 4.3.2.5 Cálculos generales para el enlace de fibra óptica

Con el fin de garantizar que el enlace de fibra óptica se encuentre correctamente dimensionado se debe cumplir con todos los parámetros que influyen en la atenuación total del enlace. Es decir el cálculo de la atenuación total determina la necesidad de regeneración de la señal.

Todos los parámetros que influyen en la atenuación total de un enlace de fibra óptica se presentan en la siguiente ecuación:

$$P_T - 2\alpha_c - \alpha D - \alpha_e N_e - M_c - M_e \geq P_R$$

- $P_T$  = Potencia máxima de transmisión del láser en dBm.
- $\alpha_c$  = Atenuación debida al conector con el interfaz óptico en dB.
- $\alpha_e$  = Atenuación debida a empalmes en dB.
- $\alpha$  = Atenuación debida a la longitud de la fibra óptica dB/Km.
- $N_e$  = Número de empalmes.
- $M_c$  = Margen de seguridad del cable de fibra óptica en dB.
- $M_e$  = Margen del interfaz óptico de transmisión en dB.
- $P_R$  = Potencia de recepción mínima dBm.

La ecuación expuesta representa la distancia máxima entre dos puntos de un enlace de fibra óptica, transmisor **S** y receptor **R** separados por una distancia **D** expresada en Km, dicha distancia (**D**) según el diseño del enlace es de 4800m (4.8Km).

Para los extremos del enlace se usarán conectores tipo FC que insertan pérdidas por conector típica de 0.2 dB. De igual manera, los empalmes por fusión incluyen una pérdida de 0.05 a 0.01 dB por empalme, sin embargo con los equipos actuales éste valor tiende a cero.

El número de empalmes **Ne** está dado por la distancia total del trayecto **D** (Distancia de nodo a nodo) dividido por la longitud máxima del carrete de fibra óptica del fabricante, que para este diseño es de 4 Km, es decir **Ne=D/4**.

El Margen de seguridad del cable **Mc** se establece al considerar que durante toda la vida útil del cable de fibra óptica presentará una rotura a intervalos de un 50% del trayecto D, es decir que **Mc = D/50 [dB]**.

El Margen del equipo **Me** lo proporciona el fabricante (ver **Anexo 5**) y está dado en el orden de 0.1 a 0.2 dB.

De la ecuación se despeja el valor máximo de la distancia **D**, la misma que queda en función de los parámetros antes mencionados, con lo que se obtiene la siguiente ecuación:

$$D_{m\acute{a}x} \leq \frac{P_T - P_R - 2 \alpha_c - M_e}{\alpha + \frac{\alpha_e}{4} + \frac{1}{50}}$$

Donde al reemplazar los datos se obtiene la distancia a la que hay ubicar regeneradores.

$$D_{m\acute{a}x} \leq \frac{0 - (-26) - 2(0,2) - 0,1}{0,35 + \frac{0,05}{4} + \frac{1}{50}}$$

$$D_{m\acute{a}x} \leq 66,67 \text{ Km}$$

Como la distancia máxima  $D_{m\acute{a}x}$  obtenida con la ecuación anterior no sobrepasa la longitud del diseño (4.8 Km), no es necesario la implementación de regeneradores.

El ancho de banda (**AB**) requerido se calcula a partir de la siguiente ecuación tomando en cuenta la distancia máxima.

$$AB_{m\acute{i}n} = \frac{0,44}{D_{m\acute{a}x}(W_c)(\Delta\lambda)}$$

Donde:

- $D_{m\acute{a}x}$  = Distancia máxima del enlace o tramo, en Km.
- $W_C$ =Dispersi3n cromática de la fibra 3ptica, en ps/nm.Km.
- $\Delta\lambda$  =Ancho espectral del láser, en nm.

De acuerdo a la fibra 3ptica seleccionada  $W_C = 8$  y considerando un valor tpico para una fuente de luz tipo láser de  $\Delta\lambda = 0,1$ , con lo cual se procede a calcular el Ancho de banda:

$$AB_{m\acute{i}n} = \frac{0,44}{66,67(8)(0,1)}$$

$$AB_{m\acute{i}n} = 8,25Mbps$$

Para poder calcular la potencia en el receptor ( $P_R$ ) se utiliza la siguiente ecuaci3n:

$$P_R \leq P_T - 2 \alpha_c - M_e - D \left( \alpha + \frac{\alpha_e}{4} + \frac{1}{50} \right),$$

Siendo  $D'$  la distancia del enlace real entre Licto y Pompeya.

Entonces se tiene:

$$P_{R\_enlace} \leq 0 - 2 (0,2) - 0,1 - 4.8 \left( 0.35 + \frac{0,05}{4} + \frac{1}{50} \right)$$

$$P_{R\_enlace} \leq -2.336 dBm$$

$$AB_{enlace} = \frac{0,44}{4.8 (8)(0,1)}$$

$$AB_{enlace} = 0,11 GHz$$

NOMBRE DEL ENLACE	DISTANCIA D' ( km)	POTENCIA $P_R$ (dBm)	ANCHO DE BANDA (GHz)
Licto-Pompeya	4.8	-2.336	0,11

**Tabla IV-41: Potencia recibida y Ancho de banda del enlace.**

En consecuencia, como se puede observar en la **Tabla IV-41**, los resultados indican que existe un muy buen nivel de recepción ya que los valores de recepción, superan los valores mínimos establecidos por el interfaz óptico.

## CAPITULO V

### ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

#### 5.1 COSTO TOTAL DEL PROYECTO VIA FIBRA OPTICA

##### 5.1.1 Determinación de Volúmenes de Obra para el enlace de fibra óptica

Dentro de los volúmenes de obra está enmarcado todo lo relacionado al tendido de la red de fibra óptica tanto aérea como subterránea (canalizada) así como también todos los elementos o accesorios necesarios para fijación, soporte y conexión de la fibra. En la **Tabla V-42** se presenta la descripción detallada de los materiales a utilizar en el segmento de red de fibra óptica así como también sus costos y cantidades requeridas.

En el **Anexo 6** se muestra el plano de ruta diseñado para el proyecto Licto – Pompeya tanto de la red canalizada como del tendido aéreo.

	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	PRECIO	
				UNITARIO	TOTAL
<b>CANALIZACIÓN</b>	Tapones Guías 1/14"	U	4	\$ 10.54	\$ 42.16
	Tapones Cerrados 1/14"	U	8	\$ 5.25	\$ 42.00
	Manguera Corrugada	m	40	\$ 1.71	\$ 68.40
	Identificador Canalizado de FO	U	4	\$ 5.17	\$ 20.68

<b>POSTERÍA</b>	Postes Proyectados (Hormig-9m)	U	26	\$ 229.11	\$ 5956.86
	Herrajes Terminales (Tipo A)	U	53	\$ 20.05	\$ 1062.65
	Herrajes de Paso (Tipo B)	U	34	\$ 20.05	\$ 681.70
	Herraje Cruce Americano	U	1	\$ 90.60	\$ 90.60
	Identificador Aéreo de FO(12X6cm)	U	60	\$ 5.78	\$ 346.80
	Subida a Poste para F.O.	U	2	\$ 53.02	\$ 106.04

<b>FIBRA ÓPTICA Y ACCESORIOS</b>	Cable ADSS G.652 D (12 hilos)	m	4800	\$ 2.42	\$ 11616.00
	Rack 19"	U	1	\$ 239.34	\$ 239.34
	ODF de 12 Puertos (G.652)	U	1	\$ 475.97	\$ 475.97
	Empalme Aéreo por Fusión (12FO)	U	2	\$ 367.30	\$ 734.60
	Reservas de Cable ADSS G.652 D	m	300	\$ 2.42	\$ 726.00
	Patch Cord Duplex FC-SC G.652(6 U)	m	12	\$ 57.03	\$ 684.36

<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 22.894,16</b>
--------------------	---------------------

**Tabla V-42: Costos de inversión en el enlace que constituye el sistema de Fibra Óptica.**

Fuente: Proveedores CNT S.A

Elaborado por: Autores de Tesis

### 5.1.2 Costos de ingeniería

Son los costos más importantes a tomar en cuenta, puesto que estos corresponden a los honorarios que la empresa tendrá que cancelar a las personas encargadas tanto del montaje del sistema de fibra óptica, así como también de las respectivas pruebas de campo, (ver **Tabla V-43**).

DESCRIPCIÓN	PRECIO (USD)
Montaje del enlace	3000
Pruebas de campo	800
<b>TOTAL</b>	<b>3800</b>

**Tabla V-43: Costos de Ingeniería.**

Fuente: Proveedores de CNT S.A.

Elaborado por: Autores de Tesis

### 5.1.3 Costo Definitivo del enlace con fibra óptica

Equivale al costo real del enlace utilizando fibra óptica el mismo que equivale a la suma del costo total generado por volumen de obra más el costo total de ingeniería, (ver **Tabla V-44**).

DESCRIPCIÓN	PRECIO (USD)
Costo total de Volumen de Obra	22.894,16
Costo total de Ingeniería	3.800,00
<b>TOTAL</b>	<b>26.694,16</b>

**Tabla V-44: Costos definitivo del enlace con fibra óptica.**

Fuente: Proveedores de CNT S.A.

Elaborado por: Autores de Tesis

## 5.2 COSTO TOTAL DEL PROYECTO VIA MICROONDAS

DETALLE	CANT.	PRECIO	
		UNITARIO	TOTAL
Torre de 6m	1	\$ 800,00	\$ 800,00
Antena	2	\$ 300,00	\$ 600,00
Radios PDH	2	\$ 8.514,15	\$ 17.028,30
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 18.428,30</b>

**Tabla V-45: Costo Total del Proyecto utilizando como medio de transmisión la microonda.**

Fuente: Proveedores de CNT S.A.

Elaborado por: Autores de Tesis

## 5.3 COSTO DE LOS EQUIPOS A UTILIZAR EN EL NODO (CENTRAL) DE POMPEYA

En la **Tabla V-46** se presenta los costos referenciales (Fuente: Proveedores CNT S.A.) de los equipos necesarios para el nodo de Pompeya.

EQUIPOS PARA EL AMG DE POMPEYA	UNI.	CANT.	PRECIO	
			UNITARIO	TOTAL
Energización	U	1	\$ 3000.00	\$ 3000.00
Baterías de 38 A para 12 VdC	U	4	\$ 600.00	\$ 2400.00
Rectificadores de 15 A para 12 VdC	U	2	\$ 800.00	\$ 1600.00
Obra civil	U	1	\$ 6500.00	\$ 6500.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 13.500,00</b>	

**Tabla V-46: Costos de equipos a ubicarse en el nodo Pompeya.**

Fuente: Proveedores de CNT S.A.

Elaborado por: Autores de Tesis

#### 5.4 CORRELACIÓN DE COSTOS DE LAS ALTERNATIVAS DE ENLACE PARA EL SERVICIO DE TELECOMUNICACIONES DE POMPEYA (FIBRA ÓPTICA vs MICROONDAS)

El diseño de servicio de telecomunicaciones para la población de Pompeya presentado como trabajo de titulación, determina la comparación entre dos enlaces que utilizan medios diferentes para la transmisión de la información (fibra óptica y microondas). Ésta comparación se la hace con el fin de determinar que variable de enlace es la más económica y por lo tanto viable para el proyecto.

En la **Tabla V-47** se puede observar los costos totales por cada enlace incluyendo además los costos de los equipos necesarios para el nodo central de Pompeya y los costos por obra civil del mismo nodo.

TIPO DE ENLACE	DESCRIPCIÓN	PRECIO
<b>Vía Fibra Óptica</b>	Costo total de volumen de obra	\$ 22.894,16
	Costo total de ingeniería	\$ 3.800,00
	Costo total de los equipos del nodo Pompeya	\$ 13.500,00
	<b>PRECIO FINAL DEL ENLACE CON FIBRA ÓPTICA</b>	<b>\$ 40.194,16</b>
<b>Vía Microonda</b>	Costo total del proyecto vía microonda	\$ 18.428,30
	Costo total de los equipos del nodo Pompeya	\$ 13.500,00
	<b>PRECIO FINAL DEL ENLACE CON MICROONDA</b>	<b>\$ 31.928,30</b>

**Tabla V-47: Costos Finales de cada enlace del proyecto Pompeya.**

Fuente: Estudio Económico del proyecto Pompeya

Elaborado por: Autores de Tesis

En definitiva la opción más óptica en términos económicos para el diseño de servicios de telecomunicaciones para la población de Pompeya sería la alternativa que utiliza como medio de transmisión las microondas. Cabe hacer notar que la diferencia económica entre el enlace vía microondas y el enlace vía fibra óptica no es excesiva, es apenas de un 20.56% más.

## CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en las encuestas se logró determinar una demanda insatisfecha del 51.88% para el servicio de telefonía fija y, del 24.4% para el servicio de internet lo que abaliza el desarrollo de éste estudio en beneficio de la comunidad.
- El realizar un análisis de tráfico previo, en un enlace de transmisión cualquiera que éste fuere, permite determinar la capacidad y características de equipos y materiales requeridos para establecer un sistema de comunicación óptimo.
- La fibra óptica utilizada como medio de transmisión en el transporte de información, presenta una gran cantidad de ventajas tales como: gran ancho de banda, baja atenuación, inmunidad electromagnética y seguridad, en comparación con los medios de transmisión guiados y no guiados tradicionales.
- La competitividad que en servicios de Telecomunicaciones actualmente se da a nivel mundial, trae consigo la necesidad de disponer de una red escalable, adaptable, confiable, redundante y de gran capacidad como la del presente proyecto, con la cual se podrá brindar servicios de telecomunicaciones de mejor calidad.
- El estudio, diseño y comparación de alternativas de enlace propuestos (vía fibra óptica y vía microonda) ha permitido determinar el más óptimo para nuestro proyecto, siendo el enlace de fibra óptica el que nos brinda mejores y mayores prestaciones técnicas aunque económicamente su costo se incrementa un 20.56% más en comparación al enlace de microondas.
- El diseño de servicios de telecomunicaciones para la población de Pompeya se ha realizado con sensatez, tomando en cuenta las especificaciones técnicas necesarias para que el nuevo enlace se interconecte de forma óptima con la red existente en la empresa CNT S.A.

## RECOMENDACIONES

- Los equipos a usarse en el enlace, deberán cumplir como mínimo cada una de las especificaciones básicas detalladas en el presente proyecto para un correcto funcionamiento del sistema.
- El tendido del cable de fibra óptica y la instalación de los equipos necesarios en el proyecto, lo debe realizar personal calificado, a fin de cumplir con todas las especificaciones y normas técnicas dadas por el fabricante y la empresa.
- La ruta que fue determinada para el tendido del cable de fibra óptica se estableció tomando en cuenta la disminución de riesgos, al seguir la postería que aloja el sistema de alta tensión se garantiza un mayor nivel de seguridad.
- Recomendamos a la empresa CNT S.A. la implementación de este proyecto en un tiempo prudencial, utilizando el diseño del enlace vía fibra óptica propuesto, el cual permitirá en el presente y futuro, brindar servicios que demanden un gran ancho de banda como por ejemplo: videoconferencia, televisión sobre IP, aplicaciones multimedia, etc.

## RESUMEN

Se realizó el diseño de servicio de telecomunicaciones para la población de Pompeya perteneciente a la parroquia rural Flores del cantón Riobamba para determinar la mejor alternativa de enlace utilizando el estudio comparativo entre un enlace de transmisión vía Fibra Óptica y un enlace vía Microonda

Se determinó que la alternativa más óptima es realizar el enlace vía fibra óptica monomodo tipo G.652D conectando los nodos Licto y Pompeya a través de un tendido aéreo dispuesto a lo largo de la vía de acceso principal entre éstas dos poblaciones; para la selección de la mejor alternativa se aplicó el método chi cuadrado en función de las variables: seguridad, ancho de banda, topología y escalabilidad, con sus respectivos identificadores y pesos asignados, además se evaluó el proyecto con técnicas económicas.

El sistema de fibra óptica diseñado es capaz de soportar un ancho de banda de 0,11 GHz sobrepasando la capacidad proyectada de la red en diez años, mejorando los servicios actuales y albergando a nuevas tecnologías.

Con el diseño de servicio de telecomunicaciones para la población de Pompeya se dará cobertura a la parroquia Flores y a las comunidades: Cuello Loma, Quincahuan, Tambido Quincahuan, Pompeya y Caliatá.

Se recomienda a CNT S.A. implementar el proyecto en la población de Pompeya que permitirá expandir su área de cobertura y mejorar su imagen institucional con el apoyo social que brinda.

## **SUMMARY**

The design of the telecommunication services has been performed for the people of Pompeya, which belongs to the Flores rural parish from the Riobamba's canton, in order to determine the best link alternative using a comparative study between a transmission link by means of optic fiber and a link by means of microwave.

It was determined that the best alternative is to perform the link by means of single-mode optic fiber G.652D type, linking the Licto and Pompeya's nodes through an aerial laying disposed along the main road between these two populations. In order to select the best alternative, the chi-square method was used based on the functions of the variables such as: security, bandwidth, topology and scalability, with their respective IDs and weights assigned. Furthermore, the project was evaluated by economical techniques.

The fiber optic system designed is capable of supporting a bandwidth of 0.11 GHz surpassing the projected capacity of the network in ten years, improving existing services and accommodates new technologies.

With the design of the telecommunications services for the people of Pompeya, there will be available coverage to the Flores' parish and the following communities: Cuello Loma, Quinchahuan, Tambido Quinchahuan, Pompeya y Caliata.

It is recommended to CNT to implement the project in the town of Pompeya, which will expand its coverage area and improve its corporate image with the social support it provides.

# BIBLIOGRAFÍA

## GENERAL

[1] **MUÑOZ, José Tomás.** Ingeniería De Desarrollo De Sistemas De Telecomunicación. Málaga-España, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga, 2008, 308p.

[2] **REEMAN. Roger L.** "Ingeniería de Sistemas de Telecomunicaciones". Mexico. Limusa. 1992. Páginas 118-220

[3] **TOMASI, Wayne.** "Sistema de Comunicaciones Electrónicas". México. Pearson Educación, 2003, 935p.

[4] **UNIDAD DE PROYECTOS ANDINATEL.** "Curso de Planta Externa". Riobamba-Ecuador, Andinatel, 2003, 234p.

[5] **UNIVERSIDAD ARTURO PRAT.** Apuntes de Telecomunicaciones. Iquique-Chile, Virtual, 2004, 150p.

## DOCUMENTOS PROPORCIONADOS POR LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

[1] Cuadro de Precios Unitarios.xls

[2] ENPC battery performance (constant watts data).xls

[3] Introducción a la Fibra Óptica.ppt

[4] Introducción a Redes Planta Externa-Cobre.ppt

[5] Introducción a Servicios Ethernet.pdf

## **BIBLIOGRAFÍA INTERNET**

### ANTENAS

[1] <http://www.gkcom.com.ar/Productos/ANTENAS/Antenas.htm>

(27-11-2009)

### CÁLCULO DE RADIOENLACES

[2] [http://www.eslared.org.ve/tricalcar/06\\_es\\_calculo-de-radioenlace\\_guia\\_v01%5B1%5D.pdf](http://www.eslared.org.ve/tricalcar/06_es_calculo-de-radioenlace_guia_v01%5B1%5D.pdf)

(20-12-2009)

### CENTRALES TELEFÓNICAS AIRSPAN

[3] <http://www.airspan.com/products/basestation.htm>

(3-03-2010)

### CENTRALES TELEFÓNICAS SIEMENS

[4] [http://www.siemens.cl/ic/redes\\_fijas\\_trad.htm](http://www.siemens.cl/ic/redes_fijas_trad.htm)

(3-03-2010)

### CENTRALES TELEFÓNICAS SONY ERICSSON

[5] <http://www.ericsson.com.co/networks/fija.shtml>

(3-03-2010)

### COBERTURA DE TELEFONÍA FIJA

[6] [http://www.supertel.gov.ec/telecomunicaciones/t\\_fija/cobertura.htm](http://www.supertel.gov.ec/telecomunicaciones/t_fija/cobertura.htm)

(17-11-2009)

### COMUNICACIONES POR FIBRA ÓPTICA

[7] <http://www.portalplanetasedna.com.ar/cursos.htm>

(18-01-2010)

### COMUNICACIONES POR MICROONDA

[8] [http://es.wikipedia.org/wiki/Comunicaciones\\_por\\_radiomicroondas.htm](http://es.wikipedia.org/wiki/Comunicaciones_por_radiomicroondas.htm)

(27-11-2009)

#### EQUIPOS DE TRANSMISIÓN HUAWEI

[9] <http://www.huawei.com/products/ngn/solutions/view.do?id=86.pdf>

(18-01-2010)

#### EQUIPOS TELEFÓNICOS NGN HUAWEI

[10] <http://www.huawei.com/products/ngn/products/view.do?id=108.pdf>

(25-02-2010)

#### ESTÁNDARES DE TELECOMUNICACIONES

[11] <http://www.itu.int/home/index.html>

(5-11-2009)

#### ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

[12] [http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n\\_electromagn%C3%A9tica.htm](http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica.htm)

(20-12-2009)

#### POLÍTICAS DE LA EMPRESA CNT

[13] <http://www.cnt.com.ec>

(15-10-2010)

#### RADIOENLACES

[14] <http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Radioenlaces/1511.pdf>

(15-12-2009)

#### RADIO ENLACES

[15] <http://www.radiocomunicaciones.net/pdf/radioenlaces-fijos-terrestres.pdf>

(15-12-2009)

#### REDES INALÁMBRICAS

[16] <http://www.itcom.com/redesinalambricas.htm>

(27-11-2009)

REGLAMENTO DE LAS TELECOMUNICACIONES

[17] <http://www.supertel.gov.ec>

(15-10-2009)

TECNOLOGÍA OFERTADA

[18] <http://www.huawei.com>

(25-02-2010)

## **ANEXOS**

## Anexo 1

Formato y resultados de las encuestas realizadas en el estudio de mercado.

### ENCUESTA 1:

#### ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

##### OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN:

Determinar el nivel de aceptación de un proyecto de telefonía fija e internet en la comunidad Pompeya y sus alrededores.

##### DATOS INFORMATIVOS:

Nombre y Apellido: .....

Comunidad: .....

Fecha: .....

##### INSTRUCTIVO:

Lea detenidamente y marque con una **X** la respuesta que crea conveniente, solo en caso de responder SI en la pregunta 2 proceda a contestar las preguntas subsiguientes.

#### CUESTIONARIO 1

1) ¿ACTUALMENTE SE ENCUENTRA UTILIZANDO ALGÚN SERVICIO DE TELEFONÍA?, SELECCIONE

FIJA	14	PORTA	353	MOVISTAR	176	ALEGRO	0	NINGUNA	133
------	----	-------	-----	----------	-----	--------	---	---------	-----

2) ¿DESEARÍA CONTAR CON LOS SERVICIOS DE TELEFONIA OFRECIDOS POR LA EMPRESA CNT S.A.?

SI 304

NO 282

3) ¿DENTRO DE QUÉ TIEMPO DESEARÍA CONTAR CON EL SERVICIO DE TELEFONÍA?

INMEDIATO 203

6 MESES 27

1 AÑO 32

MÁS DE 1 AÑO 42

4) ¿ESTARÍA DISPUESTO A PAGAR 67.20 DOLARES POR COSTOS DE INSTALACIÓN DEL SERVICIO TELEFÓNICO?

SI 304

NO 0

5) ¿CÓMO ESTARÍA DISPUESTO A PAGAR EL VALOR FIJADO POR COSTOS DE INSTALACIÓN DEL SERVICIO DE TELEFONÍA?

CONTADO 33

1 MES 38

2 MESES 92

3 MESES 141

6) ¿CUÁNTO ESTARÍA DISPUESTO A PAGAR MENSUALMENTE POR LOS SERVICIOS DE TELEFONÍA?

10 DOLARES 283

15 DOLARES 17

20 DOLARES 4

MÁS DE 20 DOLARES 0

**ENCUESTA 2:**

Lea detenidamente y marque con una **X** la respuesta que crea conveniente, solo en caso de responder SI en la pregunta 1 proceda a contestar las preguntas posteriores.

**CUESTIONARIO 2**

1) **¿DESEARÍA CONTRATAR EL SERVICIO DE INTERNET QUE OFRECE LA EMPRESA CNT S.A.?**

SI  NO

2) **¿DENTRO DE QUÉ TIEMPO DESEARÍA CONTAR CON EL SERVICIO DE INTERNET?**

INMEDIATO  6 MESES  1 AÑO  MÁS DE 1 AÑO

3) **¿ESTARÍA DISPUESTO A PAGAR 50 DOLARES POR COSTOS DE INSTALACIÓN DEL SERVICIO DE INTERNET?**

SI  NO

4) **¿CÓMO ESTARÍA DISPUESTO A PAGAR EL VALOR FIJADO POR COSTOS DE INSTALACIÓN DEL SERVICIO DE INTERNET?**

CONTADO  1 MES  2 MESES  3 MESES

5) **¿CUÁNTO ESTARÍA DISPUESTO A PAGAR MENSUALMENTE POR LOS SERVICIOS DE INTERNET?**

18 DOLARES       24.90 DOLARES       39 DOLARES       MÁS DE 39 DOLARES

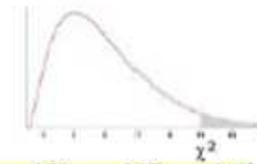
A continuación se detalla los resultados de las encuestas por comunidad:

COMUNIDAD	TAMAÑO DE LA POBLACIÓN	TELEFONÍA		INTERNET	
		SI DESEAN	NO DESEAN	SI DESEAN	NO DESEAN
Flores	216	94	122	87	7
Pompeya	180	113	67	48	65
Tambido Quinchahuan	93	68	25	6	62
Cuello Loma	62	17	45	2	15
Quinchahuan	35	12	23	0	12
<b>TOTALES</b>	<b>586</b>	<b>304</b>	<b>282</b>	<b>143</b>	<b>161</b>

## **Anexo 2**

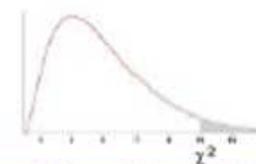
Tablas de distribución utilizadas para el método Chi-Cuadrado.

VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN JI CUADRADA



g.d.l	0,001	0,005	0,01	0,02	0,025	0,03	0,04	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	g.d.l
1	10,828	7,879	6,635	5,412	5,024	4,709	4,218	3,841	2,706	2,072	1,642	1,323	1,074	0,873	0,708	1
2	13,816	10,597	9,210	7,824	7,378	7,013	6,438	5,991	4,605	3,794	3,219	2,773	2,408	2,100	1,833	2
3	16,266	12,838	11,345	9,837	9,348	8,947	8,311	7,815	6,251	5,317	4,642	4,108	3,665	3,283	2,946	3
4	18,467	14,860	13,277	11,668	11,143	10,712	10,026	9,488	7,779	6,745	5,989	5,385	4,878	4,438	4,045	4
5	20,515	16,750	15,086	13,388	12,833	12,375	11,644	11,070	9,236	8,115	7,289	6,626	6,064	5,573	5,132	5
6	22,458	18,548	16,812	15,033	14,449	13,968	13,198	12,592	10,645	9,446	8,558	7,841	7,231	6,695	6,211	6
7	24,322	20,278	18,475	16,622	16,013	15,509	14,703	14,067	12,017	10,748	9,803	9,037	8,383	7,806	7,283	7
8	26,124	21,955	20,090	18,168	17,535	17,010	16,171	15,507	13,362	12,027	11,030	10,219	9,524	8,909	8,351	8
9	27,877	23,589	21,666	19,679	19,023	18,480	17,608	16,919	14,684	13,288	12,242	11,389	10,656	10,006	9,414	9
10	29,588	25,188	23,209	21,161	20,483	19,922	19,021	18,307	15,987	14,534	13,442	12,549	11,781	11,097	10,473	10
11	31,264	26,757	24,725	22,618	21,920	21,342	20,412	19,675	17,275	15,767	14,631	13,701	12,899	12,184	11,530	11
12	32,909	28,300	26,217	24,054	23,337	22,742	21,785	21,026	18,549	16,989	15,812	14,845	14,011	13,266	12,584	12
13	34,528	29,819	27,688	25,472	24,736	24,125	23,142	22,362	19,812	18,202	16,985	15,984	15,119	14,345	13,636	13
14	36,123	31,319	29,141	26,873	26,119	25,493	24,485	23,685	21,064	19,406	18,151	17,117	16,222	15,421	14,685	14
15	37,697	32,801	30,578	28,259	27,488	26,848	25,816	24,996	22,307	20,603	19,311	18,245	17,322	16,494	15,733	15
16	39,252	34,267	32,000	29,633	28,845	28,191	27,136	26,296	23,542	21,793	20,465	19,369	18,418	17,565	16,780	16
17	40,790	35,718	33,409	30,995	30,191	29,523	28,445	27,587	24,769	22,977	21,615	20,489	19,511	18,633	17,824	17
18	42,312	37,156	34,805	32,346	31,526	30,845	29,745	28,869	25,989	24,155	22,760	21,605	20,601	19,699	18,868	18
19	43,820	38,582	36,191	33,687	32,852	32,158	31,037	30,144	27,204	25,329	23,900	22,718	21,689	20,764	19,910	19
20	45,315	39,997	37,566	35,020	34,170	33,462	32,321	31,410	28,412	26,498	25,038	23,822	22,775	21,826	20,951	20
21	46,797	41,401	38,932	36,343	35,479	34,759	33,597	32,671	29,615	27,662	26,171	24,935	23,858	22,888	21,991	21
22	48,268	42,796	40,289	37,659	36,781	36,049	34,867	33,924	30,813	28,822	27,301	26,039	24,939	23,947	23,031	22
23	49,728	44,181	41,638	38,968	38,076	37,332	36,131	35,172	32,007	29,979	28,429	27,141	26,018	25,006	24,069	23
24	51,179	45,559	42,980	40,270	39,364	38,609	37,389	36,415	33,196	31,132	29,553	28,241	27,096	26,063	25,166	24
25	52,620	46,928	44,314	41,566	40,646	39,880	38,642	37,652	34,382	32,282	30,675	29,339	28,172	27,118	26,143	25
26	54,052	48,290	45,642	42,856	41,923	41,146	39,889	38,885	35,563	33,429	31,795	30,435	29,246	28,173	27,179	26
27	55,476	49,645	46,963	44,140	43,195	42,407	41,132	40,113	36,741	34,574	32,912	31,528	30,319	29,227	28,214	27
28	56,892	50,993	48,278	45,419	44,461	43,662	42,370	41,337	37,916	35,715	34,027	32,620	31,391	30,279	29,249	28
29	58,301	52,336	49,588	46,693	45,722	44,913	43,604	42,557	39,087	36,854	35,139	33,711	32,461	31,331	30,283	29
30	59,703	53,672	50,892	47,962	46,979	46,160	44,834	43,773	40,256	37,990	36,250	34,800	33,530	32,382	31,316	30
31	61,098	55,003	52,191	49,226	48,232	47,402	46,059	44,985	41,422	39,124	37,359	35,887	34,598	33,431	32,349	31
32	62,487	56,328	53,486	50,487	49,480	48,641	47,282	46,194	42,585	40,256	38,466	36,973	35,665	34,480	33,381	32
33	63,870	57,648	54,776	51,743	50,725	49,876	48,500	47,400	43,745	41,386	39,572	38,058	36,731	35,529	34,413	33
34	65,247	58,964	56,061	52,995	51,966	51,107	49,716	48,602	44,903	42,514	40,676	39,141	37,795	36,576	35,444	34
35	66,619	60,275	57,342	54,244	53,203	52,335	50,928	49,802	46,059	43,640	41,778	40,223	38,859	37,623	36,475	35
40	73,402	66,766	63,691	60,436	59,342	58,428	56,946	55,758	51,805	49,244	47,269	45,616	44,165	42,848	41,622	40
60	99,607	91,952	88,379	84,580	83,298	82,225	80,482	79,082	74,397	71,341	68,972	66,981	65,227	63,628	62,135	60
80	124,839	116,321	112,329	108,069	106,629	105,422	103,459	101,879	96,578	93,106	90,405	88,130	86,120	84,284	82,566	80
90	137,208	128,299	124,116	119,648	118,136	116,869	114,806	113,145	107,565	103,904	101,054	98,650	96,524	94,581	92,761	90
100	149,449	140,169	135,807	131,142	129,561	128,237	126,079	124,342	118,498	114,659	111,667	109,141	106,906	104,862	102,946	100
120	173,617	163,648	158,950	153,918	152,211	150,780	148,447	146,567	140,233	136,062	132,806	130,055	127,616	125,383	123,289	120
140	197,451	186,847	181,840	176,471	174,648	173,118	170,624	168,613	161,827	157,352	153,854	150,894	148,269	145,863	143,604	140

VALORES CRITICOS DE LA DISTRIBUCIÓN JI CUADRADA



g.d.l	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	0,975	0,98	0,99	0,995	g.d.l
1	0,571	0,455	0,357	0,275	0,206	0,148	0,102	0,064	0,036	0,016	0,004	0,001	0,001	0,000	0,000	1
2	1,597	1,386	1,196	1,022	0,862	0,713	0,575	0,446	0,325	0,211	0,103	0,051	0,040	0,020	0,010	2
3	2,643	2,366	2,109	1,869	1,642	1,424	1,213	1,005	0,798	0,584	0,352	0,216	0,185	0,115	0,072	3
4	3,687	3,357	3,047	2,753	2,470	2,195	1,923	1,649	1,366	1,064	0,711	0,484	0,429	0,297	0,207	4
5	4,728	4,351	3,996	3,655	3,325	3,000	2,675	2,343	1,994	1,610	1,145	0,831	0,752	0,554	0,412	5
6	5,765	5,348	4,952	4,570	4,197	3,828	3,455	3,070	2,661	2,204	1,635	1,237	1,134	0,872	0,676	6
7	6,800	6,346	5,913	5,493	5,082	4,671	4,255	3,822	3,358	2,833	2,167	1,690	1,564	1,239	0,989	7
8	7,833	7,344	6,877	6,423	5,975	5,527	5,071	4,594	4,078	3,490	2,733	2,180	2,032	1,646	1,344	8
9	8,863	8,343	7,843	7,357	6,876	6,393	5,899	5,380	4,817	4,168	3,325	2,700	2,532	2,088	1,735	9
10	9,892	9,342	8,812	8,295	7,783	7,267	6,737	6,179	5,570	4,865	3,940	3,247	3,059	2,558	2,156	10
11	10,920	10,341	9,783	9,237	8,695	8,148	7,584	6,989	6,336	5,578	4,575	3,816	3,609	3,053	2,603	11
12	11,946	11,340	10,755	10,182	9,612	9,034	8,438	7,807	7,114	6,304	5,226	4,404	4,178	3,571	3,074	12
13	12,972	12,340	11,729	11,129	10,532	9,926	9,299	8,634	7,901	7,042	5,892	5,009	4,765	4,107	3,565	13
14	13,996	13,339	12,703	12,078	11,455	10,821	10,165	9,467	8,696	7,790	6,571	5,629	5,368	4,660	4,075	14
15	15,020	14,339	13,679	13,030	12,381	11,721	11,037	10,307	9,499	8,547	7,261	6,262	5,985	5,229	4,601	15
16	16,042	15,338	14,655	13,983	13,310	12,624	11,912	11,152	10,309	9,312	7,962	6,908	6,614	5,812	5,142	16
17	17,065	16,338	15,633	14,937	14,241	13,531	12,792	12,002	11,125	10,085	8,672	7,564	7,255	6,408	5,697	17
18	18,086	17,338	16,611	15,893	15,174	14,440	13,675	12,857	11,946	10,865	9,390	8,231	7,906	7,015	6,265	18
19	19,107	18,338	17,589	16,850	16,109	15,352	14,562	13,716	12,773	11,651	10,117	8,907	8,567	7,633	6,844	19
20	20,127	19,337	18,569	17,809	17,046	16,266	15,452	14,578	13,604	12,443	10,851	9,591	9,237	8,260	7,434	20
21	21,147	20,337	19,548	18,768	17,984	17,182	16,344	15,445	14,439	13,240	11,591	10,283	9,915	8,897	8,034	21
22	22,166	21,337	20,529	19,729	18,924	18,101	17,240	16,314	15,279	14,041	12,338	10,982	10,600	9,542	8,643	22
23	23,185	22,337	21,510	20,690	19,866	19,021	18,137	17,187	16,122	14,848	13,091	11,689	11,293	10,196	9,260	23
24	24,204	23,337	22,491	21,652	20,808	19,943	19,037	18,062	16,969	15,659	13,848	12,401	11,992	10,856	9,886	24
25	25,222	24,337	23,472	22,616	21,752	20,867	19,939	18,940	17,818	16,473	14,611	13,120	12,697	11,524	10,520	25
26	26,240	25,336	24,454	23,579	22,697	21,792	20,843	19,820	18,671	17,292	15,379	13,844	13,409	12,198	11,160	26
27	27,257	26,336	25,437	24,544	23,644	22,719	21,749	20,703	19,527	18,114	16,151	14,573	14,125	12,879	11,808	27
28	28,274	27,336	26,419	25,509	24,591	23,647	22,657	21,588	20,386	18,939	16,928	15,308	14,847	13,565	12,461	28
29	29,291	28,336	27,402	26,475	25,539	24,577	23,567	22,475	21,247	19,768	17,708	16,047	15,574	14,256	13,121	29
30	30,307	29,336	28,386	27,442	26,488	25,508	24,478	23,364	22,110	20,599	18,493	16,791	16,306	14,953	13,787	30
31	31,323	30,336	29,369	28,409	27,438	26,440	25,390	24,255	22,976	21,434	19,281	17,539	17,042	15,655	14,458	31
32	32,339	31,336	30,353	29,376	28,389	27,373	26,304	25,148	23,844	22,271	20,072	18,291	17,783	16,362	15,134	32
33	33,355	32,336	31,337	30,344	29,340	28,307	27,219	26,042	24,714	23,110	20,867	19,047	18,527	17,074	15,815	33
34	34,371	33,336	32,322	31,313	30,293	29,242	28,136	26,938	25,586	23,952	21,664	19,806	19,275	17,789	16,501	34
35	35,386	34,336	33,306	32,282	31,246	30,178	29,054	27,836	26,460	24,797	22,465	20,569	20,027	18,509	17,192	35
40	40,459	39,335	38,233	37,134	36,021	34,872	33,660	32,345	30,856	29,051	26,509	24,433	23,838	22,164	20,707	40
60	60,713	59,335	57,978	56,620	55,239	53,809	52,294	50,641	48,759	46,459	43,188	40,482	39,699	37,485	35,534	60
80	80,927	79,334	77,763	76,188	74,583	72,915	71,145	69,207	66,994	64,278	60,391	57,153	56,213	53,540	51,172	80
90	91,023	89,334	87,666	85,993	84,285	82,511	80,625	78,558	76,195	73,291	69,126	65,647	64,635	61,754	59,196	90
100	101,115	99,334	97,574	95,808	94,005	92,129	90,133	87,945	85,441	82,358	77,929	74,222	73,142	70,065	67,328	100
120	121,285	119,334	117,404	115,465	113,483	111,419	109,220	106,806	104,037	100,624	95,705	91,573	90,367	86,923	83,852	120
140	141,441	139,334	137,248	135,149	133,003	130,766	128,380	125,758	122,748	119,029	113,659	109,137	107,815	104,034	100,655	140

### Anexo 3

Tabla de valores para la probabilidad de pérdidas Erlang.

n	Probabilidad de pérdida (E)										n
	0.00001	0.00005	0.0001	0.0005	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	
1	.00001	.00005	.00010	.00050	.00100	.00200	.00301	.00402	.00503	.00604	1
2	.00448	.01005	.01425	.03213	.04576	.06534	.08064	.09373	.10540	.11608	2
3	.03980	.06849	.08683	.15170	.19384	.24872	.28851	.32099	.34900	.37395	3
4	.12855	.19554	.23471	.36236	.43927	.53503	.60209	.65568	.70120	.74124	4
5	.27584	.38851	.45195	.64857	.76212	.89986	.99446	1.0692	1.1320	1.1870	5
6	.47596	.63923	.72826	.99567	1.1459	1.3252	1.4468	1.5421	1.6218	1.6912	6
7	.72378	.93919	1.0541	1.3922	1.5786	1.7984	1.9463	2.0614	2.1575	2.2408	7
8	1.0133	1.2816	1.4219	1.8298	2.0513	2.3106	2.4837	2.6181	2.7299	2.8266	8
9	1.3391	1.6595	1.8256	2.3016	2.5575	2.8549	3.0526	3.2057	3.3326	3.4422	9
10	1.6970	2.0689	2.2601	2.8028	3.0920	3.4265	3.6480	3.8190	3.9607	4.0829	10
11	2.0849	2.5059	2.7216	3.3294	3.6511	4.0215	4.2661	4.4545	4.6104	4.7447	11
12	2.4958	2.9671	3.2072	3.8781	4.2314	4.6368	4.9038	5.1092	5.2789	5.4250	12
13	2.9294	3.4500	3.7136	4.4465	4.8306	5.2700	5.5588	5.7807	5.9638	6.1214	13
14	3.3834	3.9523	4.2388	5.0324	5.4464	5.9190	6.2291	6.4670	6.6632	6.8320	14
15	3.8559	4.4721	4.7812	5.6339	6.0772	6.5822	6.9130	7.1665	7.3755	7.5552	15
16	4.3453	5.0079	5.3390	6.2496	6.7215	7.2582	7.6091	7.8780	8.0995	8.2898	16
17	4.8502	5.5583	5.9110	6.8782	7.3781	7.9457	8.3164	8.6003	8.8340	9.0347	17
18	5.3693	6.1220	6.4959	7.5186	8.0459	8.6437	9.0339	9.3324	9.5780	9.7889	18
19	5.9016	6.6980	7.0927	8.1698	8.7239	9.3515	9.7606	10.073	10.331	10.552	19
20	6.4460	7.2854	7.7005	8.8310	9.4115	10.068	10.496	10.823	11.092	11.322	20
21	7.0017	7.8834	8.3186	9.5014	10.108	10.793	11.239	11.580	11.860	12.100	21
22	7.5680	8.4926	8.9462	10.180	10.812	11.525	11.989	12.344	12.635	12.885	22
23	8.1443	9.1095	9.5826	10.868	11.524	12.265	12.746	13.114	13.416	13.676	23
24	8.7298	9.7351	10.227	11.562	12.243	13.011	13.510	13.891	14.204	14.472	24

<b>25</b>	9.3240	10.369	10.880	12.264	12.969	13.763	14.279	14.673	14.997	15.274	<b>25</b>
<b>26</b>	9.9265	11.010	11.540	12.972	13.701	14.522	15.054	15.461	15.795	16.081	<b>26</b>
<b>27</b>	10.537	11.659	12.207	13.686	14.439	15.285	15.835	16.254	16.598	16.893	<b>27</b>
<b>28</b>	11.154	12.314	12.880	14.406	15.182	16.054	16.620	17.051	17.406	17.709	<b>28</b>
<b>29</b>	11.779	12.976	13.560	15.132	15.930	16.828	17.410	17.853	18.218	18.530	<b>29</b>
<b>30</b>	12.417	13.644	14.246	15.863	16.684	17.606	18.204	18.660	19.034	19.355	<b>30</b>
<b>31</b>	13.054	14.318	14.937	16.599	17.442	18.389	19.002	19.470	19.854	20.183	<b>31</b>
<b>32</b>	13.697	14.998	15.633	17.340	18.205	19.176	19.805	20.284	20.678	21.015	<b>32</b>
<b>33</b>	14.346	15.682	16.335	18.085	18.972	19.966	20.611	21.102	21.505	21.850	<b>33</b>
<b>34</b>	15.001	16.372	17.041	18.835	19.743	20.761	21.421	21.923	22.336	22.689	<b>34</b>
<b>35</b>	15.660	17.067	17.752	19.589	20.517	21.559	22.234	22.748	23.169	23.531	<b>35</b>
<b>36</b>	16.325	17.766	18.468	20.347	21.296	22.361	23.050	23.575	24.006	24.376	<b>36</b>
<b>37</b>	16.995	18.470	19.188	21.108	22.078	23.166	23.870	24.406	24.846	25.223	<b>37</b>
<b>38</b>	17.669	19.178	19.911	21.873	22.864	23.974	24.692	25.240	25.689	26.074	<b>38</b>
<b>39</b>	18.348	19.890	20.640	22.642	23.652	24.785	25.518	26.076	26.534	26.926	<b>39</b>
<b>40</b>	19.031	20.606	21.372	23.414	24.444	25.599	26.346	26.915	27.382	27.782	<b>40</b>
<b>41</b>	19.718	21.326	22.107	24.189	25.239	26.416	27.177	27.756	28.232	28.640	<b>41</b>
<b>42</b>	20.409	22.049	22.846	24.967	26.037	27.235	28.010	28.600	29.085	29.500	<b>42</b>
<b>43</b>	21.104	22.776	23.587	25.748	26.837	28.057	28.846	29.447	29.940	30.362	<b>43</b>
<b>44</b>	21.803	23.507	24.333	26.532	27.641	28.882	29.684	30.295	30.797	31.227	<b>44</b>
<b>45</b>	22.505	24.240	25.081	27.319	28.447	29.708	30.525	31.146	31.656	32.093	<b>45</b>
<b>46</b>	23.211	24.977	25.833	28.109	29.255	30.538	31.367	31.999	32.517	32.962	<b>46</b>
<b>47</b>	23.921	25.717	26.587	28.901	30.066	31.369	32.212	32.854	33.381	33.832	<b>47</b>
<b>48</b>	24.633	26.460	27.344	29.696	30.879	32.203	33.059	33.711	34.246	34.704	<b>48</b>
<b>49</b>	25.349	27.206	28.104	30.493	31.694	33.039	33.908	34.570	35.113	35.578	<b>49</b>
<b>50</b>	26.067	27.954	28.867	31.292	32.512	33.876	34.759	35.431	35.982	36.454	<b>50</b>
<b>51</b>	26.789	28.706	29.632	32.094	33.332	34.716	35.611	36.293	36.852	37.331	<b>51</b>
	<b>0.00001</b>	<b>0.00005</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0005</b>	<b>0.001</b>	<b>0.002</b>	<b>0.003</b>	<b>0.004</b>	<b>0.005</b>	<b>0.006</b>	
<b>n</b>	<b>Probabilidad de pérdida(E)</b>										<b>n</b>



## Anexo 5

Requerimientos especificados por el UIT-T para fibras monomodo G.652D.

ATRIBUTOS DE LA FIBRA G.652D		
ATRIBUTO	DATO	VALOR
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8.6 – 9.5 $\mu m$
	Tolerancia	$\pm 0.6 \mu m$
Diámetro del manto	Nominal	125.0 $\mu m$
	Tolerancia	$\pm 1 \mu m$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0.6 $\mu m$
No circularidad del revestimiento	Máximo	1.0 %
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 nm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 $\mu m$	0.1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0.69 GPa

Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0min}$	1300 nm
	$\lambda_{0max}$	1324 nm
	$S_{0max}$	0.092 ps/nm <sup>2</sup> . km
<b>ATRIBUTOS DEL CABLE</b>		
<b>ATRIBUTO</b>	<b>DATO</b>	<b>VALOR</b>
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 a 1625 nm	0.4 dB/Km
	Máximo de 1383 nm $\pm$ 3 nm	$\leq$ 0.4 dB/Km
	Máximo a 1550 nm	0.3 dB/ Km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0.01 %
	PMD <sub>Q</sub> máximo	o.20 ps/ $\sqrt{Km}$



