

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTHA ABREU” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES



Título: “Red de acceso con sistemas ópticos de espacio libre en
Ciego de Ávila”

Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en

Telemática

Autor: Ing. Reynaldo Castillo Prades

Tutor: Dr.C Héctor Cruz Enríquez

Consultante: MSc. Humberto O. Beceiro García

Santa Clara, Cuba

Abril 2012

AGRADECIMIENTO

Agradezco muy cordialmente a todas las personas con las que he podido colaborar y que invirtieron su tiempo y conocimientos para ayudarme en el desarrollo del proyecto de tesis.

A nuestros profesores, quienes nos supieron guiar, a través de sus conocimientos y consejos para que el desarrollo de nuestro proyecto sea el correcto.

DEDICATORIA

Este triunfo se lo dedico a los seres más importantes de mi vida, a “mi familia” quienes día a día me han apoyado en todo, a mi madre por darme la vida, la educación y haber hecho de mí un hombre de bien, gracias de todo corazón.

ABSTRACT

Before the growing demand of wide of band (more speed) and the strongest demand in the applications guided the Web and intranet and even internet, is necessary to develop new technologies last mile that allow residential and commercial clients to give, dedicated high-speed connections and at reasonable prices, as much for the supplier as for the consumer. Access technologies exist to cover these necessities: those wired and the wireless ones. Although they are based on very different concepts, both provide speeds many times superiors to those of the conventional modems or the lines ISDN (Integrated Digital Services Network). Also, they can offer connections of complete time, always active that eliminate the tedious procedures of marked and access for modem, highlighting that these connections Dial-Up (dialed) they are subject to the time of connection and to the phone consumption according to the effective rates for the phone company.

In this work the demand of telecommunications of a sector of the Cuban society is analyzed, what doesn't imply that the final solutions you cannot apply to any sector, the different technologies of access of wide band were studied and the access technology FSO was chosen, for their advantages with regard to other access technologies.

Shows up a net structure to give answer to the demands of speed of the sector, besides the necessary equipment for the correct operation.

The design specifies, with charts, outlines and maps, the location of the main components of the net as well as the routes of faces for the future implementation of the project, were also carried out traffic studies, theoretical calculations of the links and a mediating simulation the software OptiSystem 7.0 where the technical feasibility of the project was demonstrated.

An economic calculation is made starting from the suitable chosen equipment and of the calculations of costs of materials and execution of a project of installation of a work of external plant.

RESUMEN

Ante la creciente demanda de ancho de banda (más velocidad) y la exigencia más fuerte de las aplicaciones orientadas al Web y la intranet e incluso Internet, es necesario desarrollar nuevas tecnologías de última milla que permitan entregarle a clientes residenciales y comerciales, conexiones dedicadas de alta velocidad y a precios razonables, tanto para el proveedor como para el consumidor. Existen tecnologías de acceso para cubrir estas necesidades: las cableadas y las inalámbricas. Aunque están basadas en conceptos muy diferentes, ambas proporcionan velocidades muchas veces superiores a las de los módems convencionales o a las líneas ISDN (*Integrated Services Digital Network*). Además, pueden ofrecer conexiones de tiempo completo, siempre activas, que eliminan los tediosos procedimientos de marcado y acceso por módem, destacando que estas conexiones Dial-Up (discadas) están sujetas al tiempo de conexión y al consumo telefónico según las tarifas vigentes por la empresa telefónica.

En este trabajo se analiza la demanda de telecomunicaciones de un sector de la sociedad cubana, lo que no implica que la solución final no se pueda aplicar a cualquier sector, se hace referencia a las distintas tecnologías de acceso de banda ancha actuales y se escogió la tecnología de acceso FSO, por sus ventajas con respecto a otras tecnologías de acceso.

Se presenta una estructura de red para dar respuesta a las demandas de velocidad del sector, además del equipamiento necesario para el correcto funcionamiento.

El diseño especifica, con tablas, esquemas y mapas, la ubicación de los principales componentes de la red, así como las rutas de haces para la futura implementación del proyecto, cálculos teóricos de los enlaces y una simulación mediante el software OptiSystem 7.0 donde se demostró la factibilidad técnica del proyecto.

Se hace un cálculo económico a partir del equipamiento idóneo escogido y de los cálculos de costos de materiales y ejecución de un proyecto de instalación de una obra de planta externa.

RESUMEN

INDICE

INDICE

INTRODUCCIÓN	8
1 CAPÍTULO 1: TECNOLOGÍAS DE ACCESO OPTICO	11
1.1 REDES PASIVAS ÓPTICAS PON	11
1.1.1 Topologías de redes de fibra óptica.....	11
1.1.2 Modelos Fibra hasta X (FTTx).	11
1.1.3 Arquitecturas y características	12
1.1.4 Tipos de redes pasivas ópticas PON P2MP: TDM-PON	14
1.1.4.1 Estándar BPON (Broadband PON).....	15
1.1.4.2 Estándar GPON (Gigabit PON).....	16
1.1.4.3 Estándar EPON (Ethernet PON).....	16
1.1.4.4 RF-vídeo overlay/IP TV.....	17
1.1.5 La actualidad de las redes ópticas	18
1.2 OPTICA EN EL ESPACIO LIBRE	21
1.2.1 Comunicaciones Ópticas inalámbricas	22
1.2.2 Funcionamiento	23
1.2.3 Subsistemas FSO	24
1.3 RETOS PARA LA TECNOLOGÍA FSO.....	25
1.3.1 Niebla	26
1.3.2 Absorción	26
1.3.3 Dispersión.....	27
1.3.4 Obstrucciones físicas.....	27
1.3.5 Estabilidad de la alineación	27
1.3.6 Balanceo de edificios	27
1.3.7 Desviación del haz	28
1.3.8 Destellos	28
1.3.9 Interferencia solar	28
1.3.10 Direccionalidad.....	29
1.3.11 Seguridad.....	29
1.4 APLICACIONES	30
1.4.1 Extensiones de red metro.....	30
1.4.2 Acceso de última milla	30
1.4.3 Conectividad empresarial	30
1.4.4 Respaldo para fibra	30
1.4.5 Red de retorno (Backhaul).....	30
1.4.6 Aceleración de servicio	30

INDICE

1.4.7	Recuperación de desastres	31
1.4.8	Transporte de medios digitales	31
1.4.9	Extensión de celdas celulares en edificios	32
1.5	USO DE LA TECNOLOGÍA FSO	32
1.6	CONCLUSIONES PARCIALES	32
2	CAPÍTULO 2: DISEÑO DE LA RED DE ACCESO.....	34
2.1	DIMENSIONAMIENTO DE LA RED	34
2.1.1	Análisis y Diseño de la Estructura de la Red Inalámbrica Óptica a implantar	35
2.1.2	Distancias entre las Edificaciones de la Ciudad Ciego de Ávila	36
2.1.3	Análisis de la Infraestructura de cada entidad.....	37
2.1.4	Diseño de la Red Inalámbrica Óptica	37
2.1.5	Partes del sistema y sus características	39
2.2	ECUACIÓN DEL ENLACE FSO	40
2.3	MARGEN DE ENLACE	41
2.4	DISTANCIA DE TRANSMISIÓN	41
2.5	FACTORES A CONSIDERAR EN EL ENLACE FSO.....	42
2.5.1	Potencia transmitida	42
2.5.2	Bajo consumo de potencia	43
2.5.3	Fuentes de Amplificación	43
2.5.4	Potencia de salida promedio	43
2.5.5	Divergencia del haz transmitido.....	44
2.5.6	Sensibilidad del receptor	46
2.5.7	Pérdidas ópticas	46
2.5.8	Longitud de onda	47
2.5.9	Tasa de error de bit, Tasas de transferencia y rango.....	48
2.5.10	Selección del terminal óptico.....	49
2.5.11	Análisis económico	50
2.5.11.1	De instalación con fibra óptica	51
2.6	CONCLUSIONES PARCIALES	52
3	CAPÍTULO 3: SIMULACION DE LA RED DE ACCESO	53
3.1	SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED INALÁMBRICA ÓPTICA EN EL ENLACE.....	53
3.1.1	Simulación de la nueva red inalámbrica óptica.....	54
3.1.2	Resultado de la simulación de la red inalámbrica óptica.	59
3.1.3	Analizador óptico de espectros	60
3.1.4	Monitoreo de la señal óptica	62
3.2	CONCLUSIONES PARCIALES	65
4	CONCLUSIONES	66

INDICE

5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	LXVII
6	GLOSARIO DE TÉRMINOS	I
7	ANEXOS.....	I
7.1	ANEXO A. CUADRO COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS FSONA	I
7.2	ANEXO B. CUADRO COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS MERCURY	II
7.3	ANEXO C. CUADRO COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS	II
7.4	ANEXO D. CUADRO COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS	III
7.5	ANEXO E. CUADRO COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS	IV
7.6	ANEXO F. CUADRO COMPARATIVO DE EFECTOS ATMOSFÉRICOS.....	V
7.7	ANEXO G. DATASHEET ALCATEL 9400 FSO	VI
7.8	ANEXO H. DATASHEET ALCATEL 9600 FSO	VII
7.9	ANEXO I. DATASHEET TERESCOPE 5000G.....	VIII

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Arquitecturas de las diferentes topologías FTTx	12
Figura 1.2	Arquitectura Punto-a-Punto (P2P)	13
Figura 1.3	Arquitectura en árbol Punto-a-Multipunto (P2MP).	14
Figura 1.4	Esquema de encapsulado TDM en una red PON.....	15
Figura 1.5	Distribución del espectro óptico en BPON.....	16
Figura 1.6	Espectro de vídeo overlay.....	17
Figura 1.7	Esquema de WDM.	18
Figura 1.8	Planificación de canales en sistemas CWDM.	19
Figura 1.9	Costes relativos CWDM vs DWDM.	19
Figura 1.10	Esquema funcionamiento WDM-PON.....	21
Figura 1.11	Ejemplo de la primera transmisión inalámbrica.	22
Figura 1.12	Enlace FSO.....	24
Figura 1.13	Subsistemas FSO.....	25
Figura 1.14	Direccionalidad de la luz laser.....	29
Figura 2.1	Distancias desde el Centro Telefónico a los edificios	36
Figura 2.2	Distancias desde el CT a los edificios	38
Figura 2.3	Esquema de conexión equipo ópticos.....	39
Figura 2.4	Divergencia del Haz.....	44
Figura 2.5	Pérdida de dirección del Haz.	44
Figura 2.6	Divergencia del Haz	45
Figura 2.7	Atenuación en sistemas FSO y en Cables de fibra Óptica	47
Figura 2.8	BER versus distancia a 1.25 Gbit/s	49

INDICE

Figura 3.1 Parámetros para el cálculo de la potencia recibida.....	53
Figura 3.2 Parámetros para el cálculo de la potencia recibida.....	54
Figura 3.3 Parámetros para el cálculo de la potencia recibida.....	55
Figura 3.4 Parámetros del equipo inalámbrico óptico.....	56
Figura 3.5 Parámetros del componente FSO.	56
Figura 3.6 Parámetros del equipo receptor óptico.	57
Figura 3.7 Parámetros del generador gaussiano de pulsos ópticos.	58
Figura 3.8 Parámetros del componente de recuperación de datos.	58
Figura 3.9 Parámetros del componente de fibra multimodal.....	59
Figura 3.10 Resultado del medidor óptico en el transmisor.	59
Figura 3.11 Resultado del medidor óptico en el receptor 1.....	59
Figura 3.12 Resultado del medidor óptico en el receptor 2.....	60
Figura 3.13 Resultados obtenidos por el analizador de espectros.	60
Figura 3.14 Resultados obtenidos por el BER (3 dB/km).	61
Figura 3.15 Resultados obtenidos por el BER (10 dB/km).	61
Figura 3.16 Resultados obtenidos por el BER (20 dB/km).....	61
Figura 3.17 Resultados obtenidos por el BER (29 dB/km).	61
Figura 3.18 Resultado obtenido por el BER.....	62

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Comparativa entre tecnologías WDM según el tipo de aplicación.....	20
Tabla 2.1 Análisis de las líneas de banda ancha instaladas en la ciudad de Ciego de Ávila.	35
Tabla 2.2 Distancias desde el Centro de Telecomunicaciones.	36
Tabla 2.3 Pérdidas y visibilidad en enlaces FSO.....	47
Tabla 2.4 Relación de costos de diferentes proveedores.....	50
Tabla 2.5 Costos de implantación de la nueva red.....	50
Tabla 2.6 Costos de implantación de la misma red con fibra óptica.....	51

INTRODUCCION

INTRODUCCIÓN

La competitividad de una empresa de telecomunicaciones depende fundamentalmente de la productividad con que gerencia sus recursos tecnológicos, materiales y financieros, como también de la eficiencia de sus procesos (es decir su nivel de calidad, su velocidad de producción y su flexibilidad o adaptabilidad a los cambios del entorno). Por esta razón se determina que el uso eficiente de la tecnología la convierte en una ventaja competitiva de la empresa, siempre y cuando el talento humano la sepa asimilar y utilizar.

Por tal motivo, se buscan estrategias que les permitan integrar sus diferentes tecnologías de red en una sola infraestructura. En otras palabras, exploran la posibilidad de la convergencia: incluir en una sola infraestructura sus redes de datos, voz y video. El avance de la tecnología, hace posible que toda clase de información trátase de datos, voz, audio o video sea digitalizada y enviada por diversos canales o, bien, recibida a través de cualquier dispositivo, en cualquier sitio, a cualquier hora y en cualquier lugar. [1-3]

En los últimos años las redes inalámbricas se han convertido en una de las herramientas más versátiles de la tecnología actual, teniendo campo de aplicación en diversos sectores del mercado por su adaptabilidad y eficiencia. Esta herramienta tecnológica tiene aplicación tanto en hospitales, hoteles, fabricas, como áreas académicas, e institucionales, en situaciones de desastres, permitiéndole a sus usuarios acceder de manera rápida y oportuna a la información sin necesidad de estar físicamente en un sólo sitio, ofreciendo gran flexibilidad e incrementando la productividad y eficacia en los procesos. [4]

Dentro de este contexto, la empresa de telecomunicaciones de Cuba (ETECSA) debe prepararse constantemente, para afrontar los retos predominantes en el entorno social, económico y tecnológico, siendo este último vital para el desarrollo en la gestión de los procesos, lo que les permite anticiparse, para abordar nuevos escenarios en el marco de sus responsabilidades y obligaciones con el país. En los casos de las instalaciones hoteleras, hospitalarias, administrativas, de gobierno y de cualquier otro tipo, el desarrollo tecnológico se traduce en una ventaja competitiva importante y decisiva para su gestión ya que en las últimas décadas va en aumento el nivel de exigencia y de prestación de servicios. [5]

En el municipio Ciego de Ávila, de la provincia de igual nombre, existen instituciones hoteleras, hospitalarias, administrativas y de gobierno que requieren de servicios de banda ancha, la gran mayoría no posee estos servicios, o en el mejor de los casos, las tecnologías en uso no tienen el ancho de banda requerido, haciendo difícil lograr el máximo desempeño de los servicios de telecomunicaciones para todas las instalaciones.

Estas instituciones deben conectarse con soportes de gran ancho de banda, como las tecnologías ópticas, pero normalmente en las zonas densamente pobladas el cable de fibra óptica como una

INTRODUCCION

de estas tecnologías no llega por la ubicación geográfica de la edificación o por carecer de infraestructura de telecomunicaciones.

Lo antes expuesto lleva al problema que no existe acceso de banda ancha en instituciones y empresas del municipio Ciego de Ávila que están ubicadas en zonas densamente pobladas.

El objetivo general de la investigación es proponer un sistema óptico de espacio libre como red de acceso a instalaciones en zonas densamente pobladas de la ciudad de Ciego de Ávila, que contribuya a mejorar la calidad del servicio de telecomunicaciones.

Este problema plantea objetivos específicos como los que se relacionan:

1. Caracterizar las tecnologías de banda ancha más empleadas en el mundo por las empresas de telecomunicaciones para el acceso óptico.
2. Seleccionar de las tecnologías ópticas por cable e inalámbrica la que más se adecua al ámbito nacional.
3. Diseñar una red de acceso óptica, que dé respuesta a la demanda de servicio de estas entidades.
4. Simular y evaluar la red de acceso óptica propuesta.

Llevando la investigación a las siguientes interrogantes.

¿Cuáles son las tecnologías ópticas más utilizadas para el acceso de banda ancha?

¿Cuáles son los sistemas de acceso utilizados en las instalaciones para la transmisión de datos, voz y video?

¿Con la tecnología seleccionada, se dará de respuesta a la demanda de servicio de estas entidades?

¿Qué afectaciones son las más comunes a este tipo de tecnología en nuestro clima?

Con el trabajo realizado se espera alcanzar los siguientes resultados:

1. Demostrar la factibilidad del uso de tecnologías ópticas inalámbricas y sus ventajas sobre las redes ópticas por cable de fibra.
2. Describir la tecnología óptica inalámbrica, sus potencialidades, retos y dificultades como redes de acceso.
3. Lograr un material de estudio para futuras implementaciones de redes de acceso con esta tecnología.

El trabajo se estructura en introducción, tres capítulos, conclusiones, bibliografía y anexos. En el primer capítulo se realiza una caracterización de las tecnologías de acceso ópticas utilizadas en el mundo.

En el segundo capítulo se realiza el diseño de red con la tecnología de acceso óptico de espacio libre o inalámbrico, se hace comparación con la tecnología óptica de cable de fibra para un escenario de este tipo.

INTRODUCCION

En el tercer y último capítulo se hacen cálculos de enlaces, se simula la red propuesta y se analiza la factibilidad de la propuesta de solución mediante cálculos de disponibilidad, y una valoración económica.

Como conclusiones del trabajo se abordan los resultados de la investigación, si es factible su aplicación, así como los resultados económicos.

1 CAPÍTULO 1: TECNOLOGÍAS DE ACCESO OPTICO

1.1 Redes Pasivas Ópticas PON

1.1.1 Topologías de redes de fibra óptica

La fibra óptica (FO) es un medio de transmisión clave en las redes de telecomunicación de alta capacidad. La principal virtud de la FO es su ancho de banda, juntamente con una muy baja atenuación. Esto hace que la relación entre ancho de banda y distancia de la FO sea muy superior a cualquier otro medio de transmisión. Adicionalmente, las técnicas de multiplexación de longitud de onda (WDM) permiten transmitir en paralelo varios canales sobre una única fibra (comercialmente hasta 80), cada uno de ellos a velocidades de hasta 40Gbps, consiguiendo velocidades de transmisión agregadas del orden de Tera bit por segundos a distancias de miles de Km. [4, 5][6]

La planta exterior constituye el coste más elevado para un operador, especialmente el acceso final de abonado. En este sentido, mientras la interconexión entre centrales tiene una gran utilización y rendimiento a causa de su compartición entre muchas comunicaciones y un uso continuado, el acceso de abonado es un enlace exclusivo, tiene una baja utilización y por lo tanto un gran coste de despliegue.

Además hasta ahora, el ancho de banda del tradicional par de cobre telefónico era suficiente para transmitir las aplicaciones que se ofrecían a los usuarios. [7, 8]

1.1.2 Modelos Fibra hasta X (FTTx).

Las redes de acceso basadas en fibra óptica ofrecen diferentes posibilidades para realizar el despliegue. Una clasificación a tener en cuenta y que condiciona las prestaciones, escalabilidad y solución tecnológica del despliegue es la profundidad que la fibra alcanza dentro del tramo entre la central y el usuario final. Esta clasificación da lugar al concepto de FTTx (Fiber-To-The-x: Fibra hasta x) donde x es una variable que determina el punto final de la fibra.

CAPITULO 1

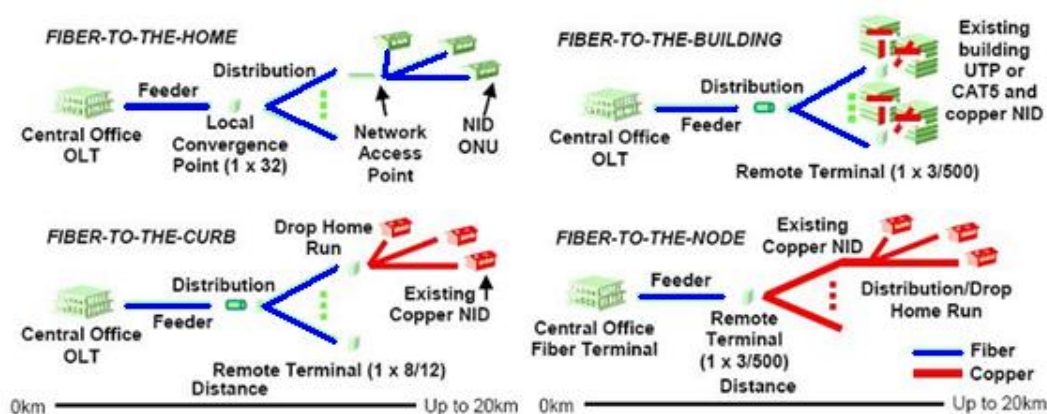


Figura 1.1 Arquitecturas de las diferentes topologías FTTx (tomado de: [7, 9])

El acrónimo FTTx (Fiber-To-The-x) para redes de acceso ópticas designa fibra hasta x, donde x denota un número de destinos, que pueden ser FTTH (Home, casa), FTTU (user, usuario), FTTP (Premise, proximidad), FTTC (Curb, acera), FTTB (Building, edificio), FTTN (Node, nodo). Estos conceptos se solapan en significado: FTTP es similar a FTTB y FTTC es complementario a FTTN. Para evitar confusiones y la proliferación de acrónimos, los Consejos de FTTH de Norteamérica, Europa y Asia-Pacífico, considerando que el objetivo es aproximar al máximo la fibra óptica al usuario, mantiene solo dos variantes: FTTH y FTTB, con las siguientes definiciones:

FTTH usa un enlace de fibra óptica desde la central del operador hasta la vivienda u oficina de negocios.

FTTB usa un enlace de fibra óptica desde la central del operador hasta los límites de los edificios, continuando hasta el usuario final mediante otro medio de transmisión, sea cobre o radio. [10]

Estas dos definiciones no incluyen la finalización de la fibra óptica en un punto intermedio de distribución RN para servir un conjunto de viviendas u oficinas. Este acceso óptico se denomina FTTN y mantiene una continuidad hacia los usuarios finales mediante cobre con soluciones xDSL, coaxial o RF. [10]

1.1.3 Arquitecturas y características

Dentro de las soluciones FTTH existen dos topologías a considerar: Punto-a-Punto (P2P), donde una fibra en exclusiva está dedicada desde la central hasta cada usuario y Punto-a-Multipunto (P2MP), donde hay una FO común para un conjunto de usuarios que se divide mediante un dispositivo óptico pasivo en N usuarios a partir de un cierto punto intermedio. Estas dos arquitecturas son de la familia Red Óptica Pasiva (Passive Optical Network-PON), ya que no hay ningún equipo activo en la planta externa.

CAPITULO 1

Una arquitectura PON está constituida por la Terminación de Línea Óptica (Optical Line Terminal-OLT), que es el equipo situado en la central de conmutación y la Unidad de Red de Usuario (Optical Network Unit-ONU), que es el equipo del usuario, interconectándose ambos mediante la planta externa.

La solución P2P típicamente se implementa en Ethernet Punto-a-Punto (EP2P).

Una ventaja de EP2P es que permite velocidades simétricas entre la central y el usuario de 100 Mb/s, que pueden llegar a 1 Gb/s o 10 Gb/s mediante las tarjetas adecuadas en la central y en el usuario. No obstante los costes económicos de EP2P son más elevados que los de P2MP en despliegues exteriores de FO y en la central en equipamiento y consumo. Otra desventaja de EP2P es que no soporta overlay de RF, que consiste en asignar una longitud de onda para la difusión de vídeo sobre un medio de transmisión en difusión (broadcast).[7, 8]

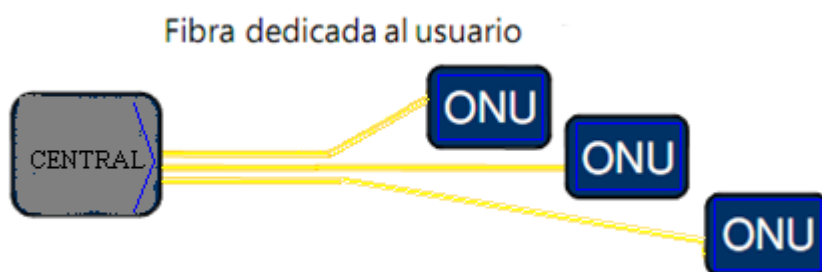


Figura 1.2 Arquitectura Punto-a-Punto (P2P).Fuente propia

En la arquitectura Punto-a-Multipunto (P2MP) una FO sale de la OLT y un dispositivo pasivo divisor/mezclador de potencia (splitter/combiner) divide la FO en N fibras hasta los usuarios finales en una topología en árbol. De esta manera solo se necesita una sola FO de salida de la central telefónica (y una única interface de transmisión), realizándose la repartición de fibras en la proximidad de los usuarios. Se obtiene así un menor costo de despliegue. La función de divisor se puede realizar en serie en varias etapas de divisiones (splitting), de forma que la arquitectura se adapta a la distribución de los usuarios. Los datos de bajada OLT-ONU se transportan en una longitud de onda, que se distribuye a través del divisor (splitter) a todas las ONUs.

Para la subida ONU-OLT se usa una longitud de onda diferente para no interferir en la bajada y el splitter combina las transmisiones hacia la OLT. Una característica de la arquitectura P2MP es la capacidad de gestionar el tráfico según las necesidades de los usuarios a través de una asignación dinámica del ancho de banda (Dynamic Bandwidth Allocation-DBA). La DBA también debe coordinar la transmisión de las ONUs de forma que llegue a la OLT sin colisiones. [8, 11]

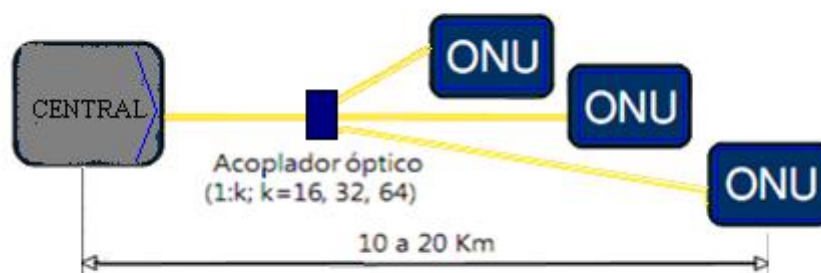


Figura 1.3 Arquitectura en árbol Punto-a-Multipunto (P2MP).Fuente propia

Los estándares comerciales utilizan la siguiente asignación de longitudes de onda: El tráfico de bajada se realiza en la banda de 1480-1500 nm y el de subida en la banda de 1260-1360 nm. La banda de 1550 nm se reserva para aplicaciones de vídeo overlay ya que permite el uso de amplificadores de fibra dopada con ERBIO (EDFA) en la OLT para mejorar el balance de potencia. La banda de 1260-1360 nm permite utilizar láseres de bajo coste sin estabilización de temperatura del tipo Fabry-Pérot en la ONU. Los divisores de potencia 1:k, donde k es múltiplo de 2 (2, 4, 8, 16, 32), se pueden combinar hasta llegar a una partición máxima total N de 32 o 64, según el estándar utilizado y la distancia OLT-ONUs, que puede ser hasta 20 Km. [8, 9]

1.1.4 Tipos de redes pasivas ópticas PON P2MP: TDM-PON

La multiplexación por división de tiempo, TDM, es una técnica para compartir un canal de transmisión entre diversos usuarios. Consiste en asignar a cada usuario, durante unas determinadas "ranuras de tiempo", la totalidad del ancho de banda disponible. Esto se consigue organizando el mensaje de salida en unidades de información denominadas tramas, y asignando intervalos de tiempo fijos dentro de la trama a cada canal de entrada. De esta forma, el primer canal de la trama corresponde a la primera comunicación, el segundo a la segunda, y así sucesivamente, hasta que el n-ésimo más uno vuelva a corresponder a la primera.

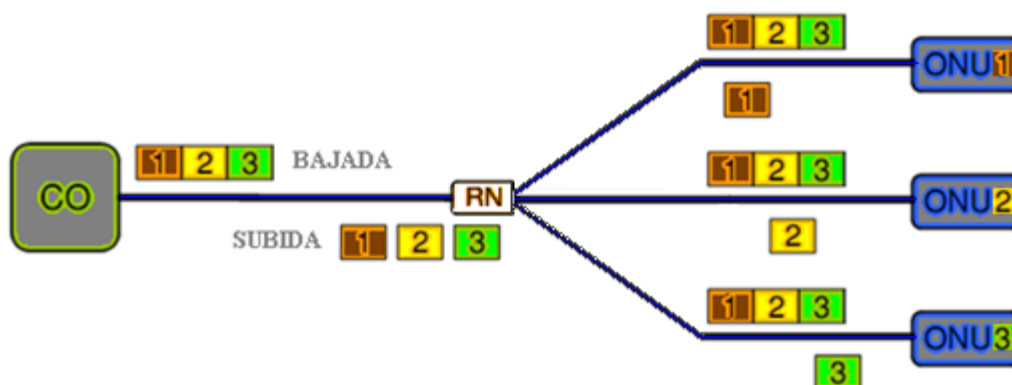


Figura 1.4 Esquema de encapsulado TDM en una red PON. Fuente propia.

Los estándares comerciales de redes PON (B-PON, E-PON, G-PON) utilizan esta tecnología como un medio de encapsulado de la información.

A continuación se muestran los estándares actuales y las posibles variantes de redes de acceso óptico PON.

1.1.4.1 Estándar BPON (Broadband PON)

La especificación G.983.1 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) se adoptó en el año 2001, desarrollando los trabajos para una red de acceso a al servicio total o Full Service Access Network (FSAN). También conocida como APON, ya que está basada en ATM, con una velocidad de bajada de 622 o 155 Mb/s y una subida de 155 Mb/s. La máxima partición de usuarios es de 32, pudiendo crecer hasta 64, y la distancia máxima es de 20 Km.

De forma general las ONUs están a distancias diferentes de la central telefónica, por lo tanto la transmisión de subida se debe coordinar de forma que no haya colisiones en la OLT. Para ello, la OLT mide los tiempos de propagación ONU-OLT y obliga a la ONU a insertar un retardo ecualizador de tal manera que todas las distancias efectivas ONU-OLT equivalgan a la máxima distancia disponible (ranging). [7]

La transmisión de subida se realiza en 1260-1360 nm y la de bajada en 1480-1580 nm.

En una BPON totalmente cargada en tráfico a 622/155 Mb/s (down/up) cada usuario de los 32 tiene una máxima velocidad de bajada de 13 Mb/s y 3 Mb/s de subida. En cualquier caso, esta suposición no tiene en cuenta criterios de simultaneidad ni ganancias debido a multiplexación estadística, parámetros típicos de las redes de datos. [10]

En las redes residenciales se puede ofrecer adicionalmente al servicio de datos también servicio de difusión de vídeo. Con la especificación G.983.3 se ha ampliado el uso del espectro óptico

CAPITULO 1

para permitir este servicio. La subida de datos se mantiene en 1260-1360 nm y la bajada se reduce a 1480-1500 nm, reservando una banda de 1539- 1565 nm para difusión de vídeo:

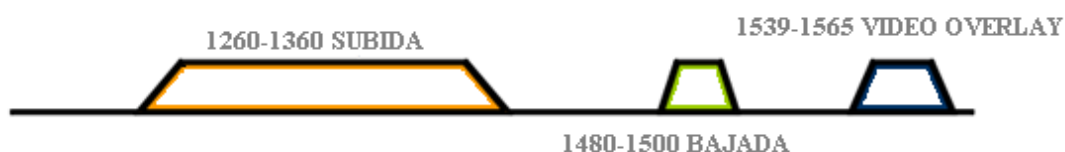


Figura 1.5 Distribución del espectro óptico en BPON. Fuente propia.

El estándar BPON no se utiliza comercialmente hoy, pero sirve de referencia para presentar su evolución, el estándar GPON.

1.1.4.2 Estándar GPON (Gigabit PON)

La serie de estándares G.984.x de la UIT del año 2004 presentan una evolución de BPON hacia velocidades de Gb/s bajo el acrónimo de estándar GPON.

La recomendación G.984.1 es similar a la BPON, incrementando la velocidad de transmisión y el máximo factor de división. La máxima distancia es de 20 Km para 32 usuarios. Sirviendo 64 usuarios la distancia máxima es de 15 Km y con 16 usuarios se puede llegar a 30 Km. Todos estos parámetros dependen, en cualquier caso del presupuesto óptico del enlace (power budget) y de la clase de equipamiento utilizado.

Incluye velocidades de bajada de 1244 y 2488 Mb/s y de subida de 155, 622, 1244 Mb/s. Con 2488 Mb/s de bajada la velocidad mediana entre 32 usuarios es del orden de 80 Mb/s.

La subida de datos está en 1260-1360 nm y la bajada también en 1480-1500 nm, posibilitando la distribución de vídeo en overlay. [7]

1.1.4.3 Estándar EPON (Ethernet PON)

El estándar EPON (IEEE 802.ah) fue ratificado por el IEEE también en el 2004, siendo una extensión del trabajo realizado por el comité Ethernet in the First Mile (EFM), que incluye diversos fabricantes de equipos Ethernet. Soporta 32 usuarios con una distancia máxima OLT-ONU recomendada de 20 Km.

La mayor diferencia con BPON es que EPON transporta paquetes variables en formato de trama Ethernet de hasta 1518 bytes, mientras que BPON usa celdas fijas de 53 bytes. Esto proporciona a EPON gran eficiencia para la transmisión de tráfico IP. [10]

Los paquetes se transportan a una velocidad efectiva de 1 Gb/s (1.25 Gb/s de velocidad de línea) usando el protocolo Ethernet 802.3.

La subida y bajada de datos se mantienen en 1260-1360 nm y 1480-1500 nm, respectivamente, con la posibilidad de difusión de vídeo overlay.

CAPITULO 1

Comparativamente, el protocolo EPON es similar a GPON a nivel de velocidades de transmisión, pero no ofrece las capacidades de gestión de este último, y se considera EPON como una solución de bajo costo. Adicionalmente, los requisitos de los dispositivos EPON son menos críticos que en GPON, cosa que hace que la solución EPON sea más económica que el equivalente GPON.

1.1.4.4 RF-vídeo overlay/IP TV

La distribución de contenidos de vídeo en redes PON es una de las aplicaciones clave que justifica el despliegue de este tipo de infraestructura. En cualquier caso, hay diferentes aproximaciones para ofrecer esta aplicación a los usuarios finales.

La solución directa, que proviene del mundo de las redes de cable, consiste en transmitir el espectro RF mediante una fuente láser dedicada a la aplicación de vídeo en paralelo a las señales de datos. Este concepto se conoce como video overlay. [12]

El hecho de modular el espectro RF y transmitirlo de manera analógica por la fibra tiene, sin embargo, ciertos inconvenientes. Transmitir analógicamente por la fibra hace que las sensibilidades de recepción sean bajas, obligando al emisor a transmitir a alta potencia, normalmente utilizando amplificación mediante EDFAs. El diseño de esta etapa de vídeo overlay no es trivial, ya que puede provocar interferencias sobre la señal de datos EPON/GPON. Como ventaja, las soluciones de vídeo overlay ofrecen una compatibilidad directa con las soluciones de distribución de TV existentes ya que la terminación de la etapa se realiza mediante una conexión coaxial estándar.



Figura 1.6 Espectro de vídeo overlay. Fuente propia.

Para solucionar los problemas de transmisión asociados al vídeo overlay y ofrecer interactividad avanzada, se pueden transmitir las señales de vídeo conjuntamente con las señales de datos sobre la misma portadora. Este es el concepto de IPTV.

IPTV distribuye vídeo digital utilizando la infraestructura de transporte EPON/GPON de datos de manera que es totalmente transparente al canal de transmisión óptico. Como ventaja ofrece alta calidad en la señal e interactividad avanzada y presenta como principal inconveniente el hecho de cargar el ancho de banda descendente con información de vídeo, ocupando gran ancho de banda (6-8Mb/s por canal IPTV transmitido en el estándar H.264).[9]

CAPITULO 1

1.1.5 La actualidad de las redes ópticas

El ancho de banda de una conexión de fibra óptica se puede incrementar transmitiendo diversas longitudes de onda en una única fibra, técnica conocida como WDM. El WDM se consigue usando un multiplexor para combinar longitudes de onda viajando por diferentes fibras hacia una sola fibra. Al final de la conexión, un demultiplexor separa las longitudes de onda y las dirige hacia diferentes fibras que finalizan en diferentes receptores.[9]

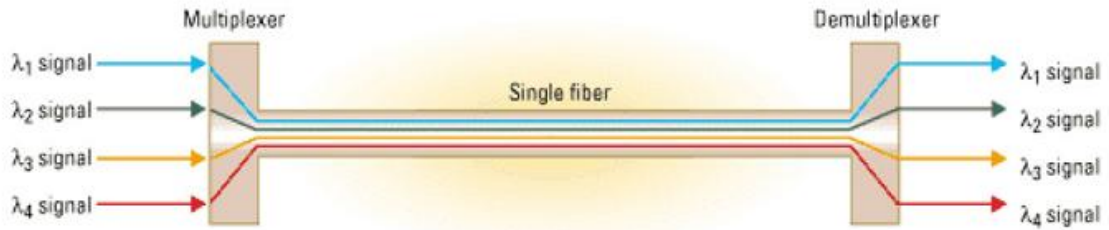


Figura 1.7 Esquema de WDM. Tomado de [9]

La transmisión por multiplexado por división aproximada de longitud de onda CWDM (coarse wavelength division multiplex) está ganando popularidad en aplicaciones tales como acceso metropolitano 10 GbE, FTTH-PON, y otros sistemas de corto alcance punto a punto con servicios transparentes, utilizando protocolos tales como Gigabit y Fast Ethernet.

El multiplexado por división aproximada de longitud de onda (CWDM), una tecnología WDM, se caracteriza por un espaciado más amplio de canales que la división densa de longitud de onda (DWDM). Los sistemas CWDM son más rentables para las aplicaciones de redes metropolitanas.

La técnica de multiplexado CWDM consta de 18 longitudes de onda definidas en el intervalo de 1270 a 1610 nm con un espaciado de 20 nm, de las cuales, se aprovechan efectivamente 16.

CAPITULO 1

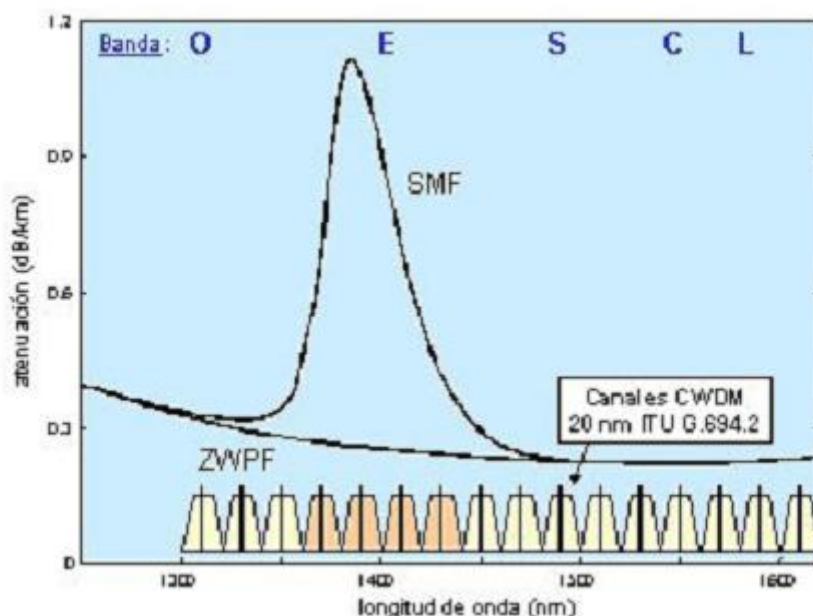


Figura 1.8 Planificación de canales en sistemas CWDM. Tomado de [9]

Los sistemas CWDM admiten distancias de transmisión de hasta 50 km y no usan amplificación óptica. Entre estas distancias, la tecnología CWDM puede admitir diversas topologías: anillos con distribuidor (hubbed ring), punto a punto y redes ópticas pasivas. Además, se adapta correctamente a las aplicaciones de redes metropolitanas.

Existen diversos escenarios, además de las ya comentados redes metropolitanas, donde CWDM constituye una opción atractiva. Por ejemplo, los sistemas de acceso de banda ancha sobre redes HFC requieren a menudo la transmisión de tráfico de retorno desde los nodos HFC hacia la cabecera situada a unos 75 km de distancia de estos, siendo CWDM un candidato ideal para esta aplicación. El alcance de las transmisiones digitales banda base sobre CWDM es de hasta 75 km, si bien en el caso de retorno analógico se tiene un alcance más reducido a causa de los requisitos de relación señal ruido. Los sistemas de acceso de bucle de abonado FTTC, FTTB o FTTH, caracterizados por alcances de hasta 20 km, constituyen otro campo de aplicación donde CWDM puede ser beneficioso. [9]

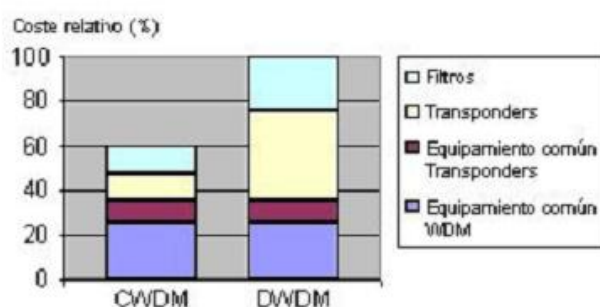


Figura 1.9 Costes relativos CWDM vs DWDM. Tomado de [9]

CAPITULO 1

La tecnología CWDM es especialmente atractiva a causa de su bajo coste. En comparación a DWDM, los sistemas CWDM proporcionan ahorros del orden de un 35% a 65%. Por ejemplo, en la figura 1.9 se muestran los costes relativos de ambas tecnologías calculados para un sistema consistente en un anillo protegido de 16 canales, con un hub y cuatro nodos, cada uno de los cuales utilizan 4 longitudes de onda.

EL ahorro proporcionado por CWDM (hasta un 40% en este caso) surge de la reducción de costes de los láseres sin necesidad de control de temperatura y del menor precio de los multiplexores y demultiplexores pasivos. Esto trae consigo un ahorro de espacio, simplifica la construcción del láser y reduce además el consumo de potencia (un valor medio de 0,5 W para un láser CWDM en comparación de más de 2 W para un transmisor láser DWDM).

Tabla 1.1 Comparativa entre tecnologías WDM según el tipo de aplicación.

Aplicación/parámetro	CWDM acceso/MAN	DWDM MAN/WAN	DWDM largo alcance
Canales por fibra	4-16	32-80	80-160
Espectro utilizado	O, E, S, C, L	C, L	C, L, S
Espaciado entre canales	20 nm (2500 GHz)	0,8 nm (100 GHz)	0,4 nm (50 GHz)
Capacidad por canal	2,5 Gbit/s	10 Gbit/s	10-40 Gbit/s
Capacidad de la fibra	20-40 Gbit/s	100-1000 Gbit/s	>1 Tbit/s
Tipo de láser	uncooled DFB	cooled DFB	cooled DFB
Distancia	hasta 80 km	centenares de km	miles de km
Coste	bajo	medio	alto
Amplificación óptica	ninguna	EDFA	EDFA, Raman

En las redes PON se ha implantado el concepto WDM-PON. Esta tecnología se basa en la utilización de una longitud de onda diferente para cada ONU, lo que nos permite implementar diferentes subredes sobre la misma infraestructura. Está utiliza múltiples longitudes de onda para incrementar el ancho de banda de subida y bajada hasta los usuarios finales. WDM-PON puede proporcionar más ancho de banda en largas distancias, además incrementando el link loss budget se consigue menos sensibilidad a las pérdidas derivadas de los divisores ópticos.

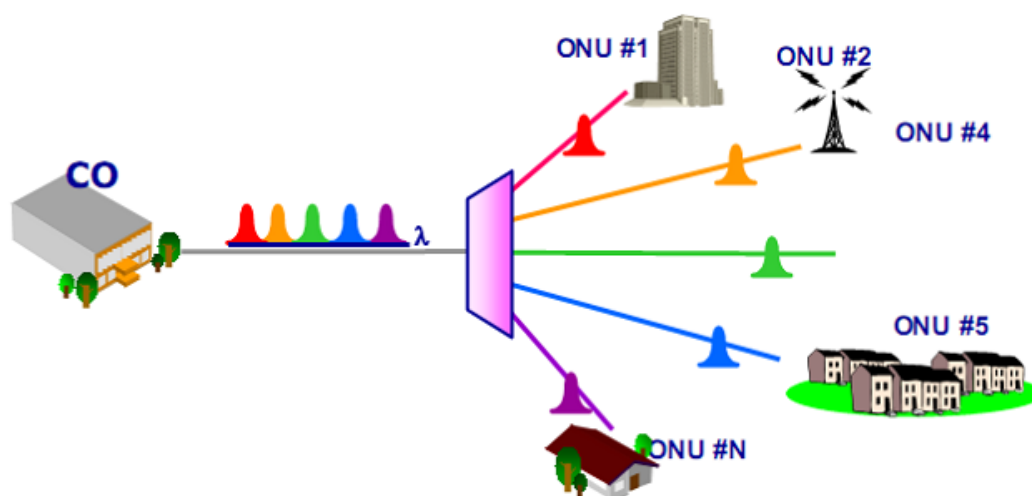


Figura 1.10 Esquema funcionamiento WDM-PON. Tomado de [9]

Las redes de acceso por fibra óptica es una solución para dar servicios de banda ancha a los usuarios finales. Aunque en un principio presentan unos costes de despliegue relativamente altos, escogiendo soluciones tecnológicas que aseguran escalabilidad y transparencia se consigue disponer de una planta externa que no se deberá modificar en un largo tiempo. Las soluciones PON son un ejemplo de este tipo de tecnología, siendo una apuesta muy interesante para localizaciones residenciales de alta densidad.

A nivel de soluciones PON, hay dos estándares predominantes: las soluciones EPON y las soluciones GPON. EPON, desarrollado por el IEEE, ofrece un canal de datos entre la central y los usuarios finales a un coste bajo; mientras que GPON ofrece servicios avanzados, calidad de servicio y diferenciación, a un coste más elevado. [8, 13]

Finalmente, la transmisión de vídeo, que es una aplicación crítica en las futuras redes de acceso, debido a su elevado consumo de recursos, se puede ofrecer mediante el concepto de vídeo overlay, consistente en transmitir el espectro de RF modulando directamente un láser de manera analógica o bien transmitiendo el vídeo directamente en formato digital dentro del mismo canal de datos, concepto conocido como IPTV. IPTV es la solución tecnológica más avanzada y la que permite más calidad e interactividad, mientras que el vídeo overlay presenta una solución de transición que permite aprovechar el equipamiento de RF ya desplegado.

1.2 OPTICA EN EL ESPACIO LIBRE

Es innegable que la idea de redes totalmente de fibra óptica es algo promisorio, debido a sus grandes capacidades, pero aun existen obstáculos que impiden que esto sea una total realidad.

CAPITULO 1

El concepto de la transmisión de información a través del aire por medio de una pequeña señal modulada es ya bastante antiguo. (Figura 1.11) A pesar de que grandes avances se han hecho durante los últimos 10 años, el concepto se mantiene relativamente simple.

Los orígenes de la óptica en el espacio libre se remontan al siglo XIX cuando Graham Bell, antes de sentar las bases de la telefonía, consiguió transmitir señales de voz a través del aire por un haz de luz hasta una distancia de 180 metros. Aunque este descubrimiento de Bell nunca llegó a convertirse en una realidad comercial, colocó las bases de las comunicaciones ópticas actuales.[14]

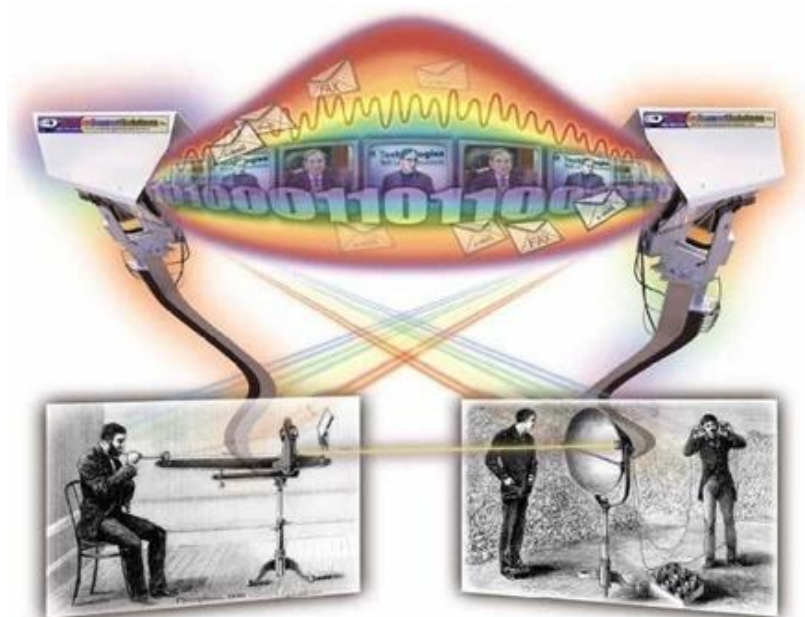


Figura 1.11 Ejemplo de la primera transmisión inalámbrica.(Fuente:[15])

1.2.1 Comunicaciones Ópticas inalámbricas

En la actualidad, la economía de la información depende de la transmisión de datos, voz y multimedia a través de las redes de telecomunicaciones. A pesar de la existencia de nuevas tecnologías que han habilitado mayor capacidad a las líneas telefónicas de cobre para transportar información de manera más eficiente, las redes ópticas continúan siendo el medio más idóneo para dar una verdadera conectividad en las comunicaciones de gran ancho de banda.[16, 17]

En cierto momento, muchos de los líderes de la industria de las telecomunicaciones, contemplaron la idea de llegar a tener redes absolutamente de fibra. Pero esto se ha vuelto hasta la fecha una idea poco práctica debido a diferentes factores. En ciertas ciudades el proceso de realizar un tendido de fibra consume una gran cantidad de tiempo y en ocasiones extremadamente costoso.

CAPITULO 1

El cuidado y reparación de fibras en funcionamiento ante eventos de interrupción por accidente, sabotajes o desastres naturales es también un proceso que consume tiempo y presenta grandes retos técnicos. Esto repercute en la frustración de los usuarios ante cada hora que se encuentran sin tener acceso a su red.

A estas dificultades se le ha tenido que buscar como sortearlas, es cuando se retoma la idea de Graham Bell de transmitir la luz por el espacio, o sea mezclar las cualidades de las tecnologías de fibra y la inalámbrica, de una el mayor ancho de banda y de la otra la facilidad de acceso sin grandes inversiones estructurales, de aquí nace la necesidad del uso de la incipiente transmisión óptica inalámbrica.[15, 18, 19]

Un delgado haz de luz es transmitido a través de la atmósfera y posteriormente recibido en la estación receptora. Los avances que han llevado a lo que hoy se conoce como comunicaciones ópticas en espacio libre (FSO), han sido debidos a la necesidad de aumentar el ancho de banda y mejorarlos sistemas de comunicaciones.

Sin embargo el método no está libre de dificultades debido a la forma misma de transmisión, se presentan algunas dificultades que competirán con las ventajas y que se explican en el capítulo.[20, 21]

1.2.2 Funcionamiento

FSO es una tecnología de línea de vista en la que se usan haces de luz invisibles para proveer una conexión óptica con un ancho de banda en el que se puede enviar y recibir voz, video y datos. Para conseguir esta conectividad óptica no se requiere de inversión en cable de fibra óptica ni en licencias del espectro de RF. La tecnología FSO requiere de la luz.[22, 23]

El funcionamiento está basado en la conectividad entre dos unidades ópticas inalámbricas. Cada una consistiendo de un transmisor-receptor (transceiver) óptico con un transmisor y un receptor para conseguir la comunicación bidireccional. Cada unidad incluye una fuente de luz más un lente o telescopio que transmite la luz a través de la atmósfera hacia otro lente que se encuentra recibiendo la información. En el punto de recepción, el lente o telescopio receptor se conecta a un receptor de alta sensibilidad por medio de fibra óptica.[24]

Los sistemas FSO disponibles, ofrecen capacidades de transmisión en el rango de los 100 Mbps hasta los 2.5Gbps. Estos sistemas son compatibles con una gran cantidad de aplicaciones y mercados y pueden ser implementados utilizando una gran variedad de topologías.

Los sistemas FSO pueden funcionar sobre distancias de varios kilómetros, siempre y cuando exista una línea de vista despejada entre el origen y el destino y suficiente

CAPITULO 1

potencia en el transmisor. A diferencia de las comunicaciones inalámbricas por microonda, la tecnología FSO no requiere licencias de espectro o coordinación del uso de frecuencias con otros usuarios ya que no existe el problema de la interferencia y la señal láser punto a punto es muy difícil de interceptar y por lo tanto segura. En la figura 1.12 se presenta un ejemplo de un enlace FSO en su uso más común.[14]

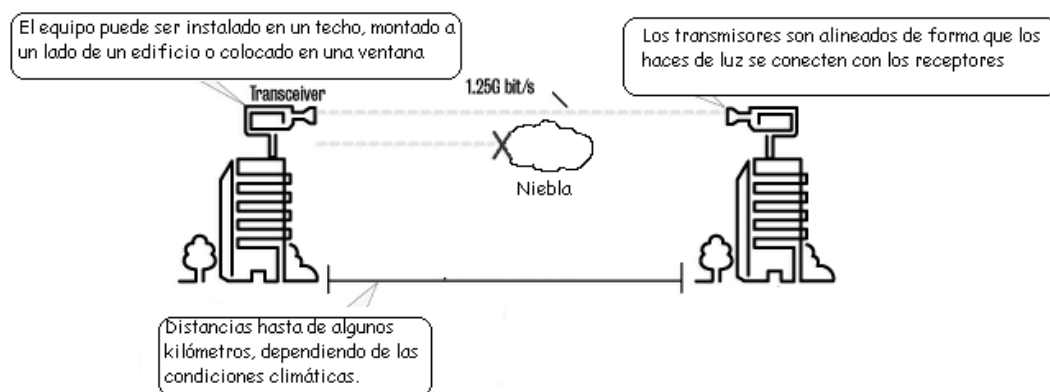


Figura 1.12 Enlace FSO. Tomado de [14]

1.2.3 Subsistemas FSO

A continuación se presenta un diagrama en la figura 1.13, donde se ilustran los mayores subsistemas incluidos dentro de un sistema de comunicación FSO. Las aperturas ópticas dentro de un sistema FSO pueden tener casi una infinita variedad de formas y cierta variedad de función. Pueden ser refractivas, reflectivas, difractivas o combinaciones de estas. En la ilustración, los telescopios de transmisión, recepción y de rastreo aparecen como aperturas ópticas separadas. Así mismo hay una gran cantidad de configuraciones posibles incluyendo a las que un solo dispositivo óptico realiza todas las funciones.[14, 25]

En el receptor, los aspectos más importantes son el tamaño de apertura y la frecuencia. El tamaño de apertura determina la cantidad de luz recogida en el receptor y la frecuencia determina su campo de vista. El campo de vista del sistema de rastreo óptico debe ser lo suficientemente amplio para adquirir y mantener la integridad del enlace para determinado detector y sistema de control de rastreo.

CAPITULO 1

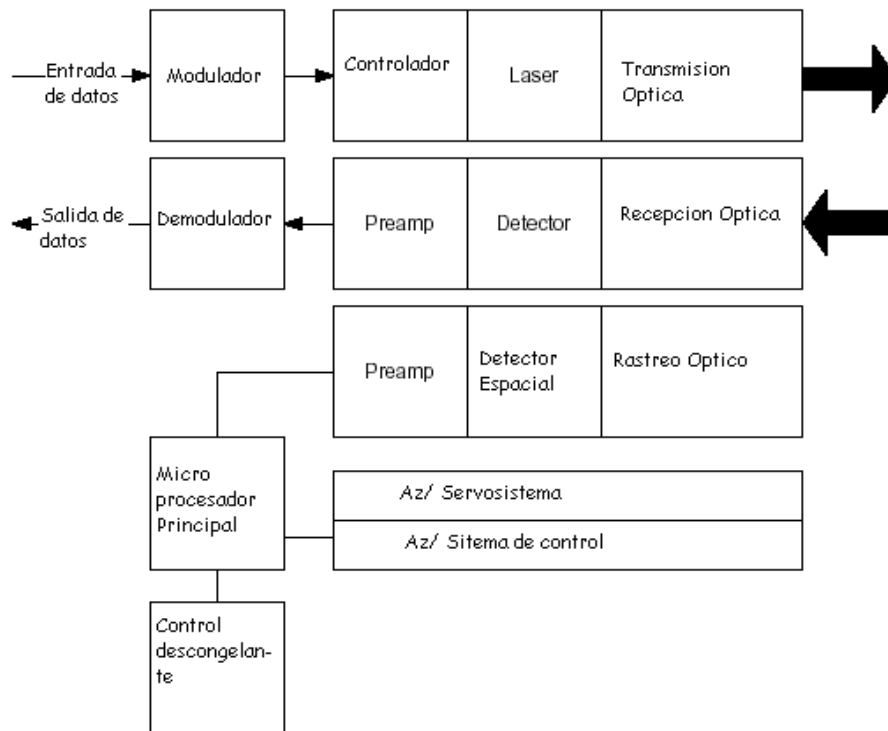


Figura 1.13 Subsistemas FSO tomado de [26]

1.3 Retos para la tecnología FSO

Mientras que los cables de fibra óptica y la tecnología FSO comparten muchos atributos, también enfrentan diferentes retos debido a la forma en que se transmite la información. La fibra óptica está sujeta a disturbios externos, la tecnología FSO también está sujeta a sus propios potenciales disturbios externos. Las redes ópticas inalámbricas basadas en tecnología FSO deben ser diseñadas para combatir cambios en la atmósfera que pueden afectar la capacidad de desempeño. Debido a que FSO es una tecnología de línea vista, los puntos de interconexión deben estar libres de obstrucciones físicas y ser capaces de verse entre sí.[14, 27]

Todos los potenciales disturbios pueden ser enfrentados por medio de un profundo y apropiado diseño de la red así como una buena planificación. Dentro de los asuntos a considerarse en el desarrollo de sistemas FSO están:

CAPITULO 1

1.3.1 Niebla

La niebla densa es el reto primordial para las comunicaciones basadas en FSO. La lluvia y la nieve tienen poco efecto en la tecnología FSO, pero la niebla es diferente. La niebla es vapor compuesto por pequeñas gotas de agua, las cuales solo tienen unos pocos cientos de micrones de diámetro pero pueden modificar las características de la luz o bloquear completamente el paso de la luz por medio de una combinación de absorción, dispersión, y reflexión.[28-30]

1.3.2 Absorción

La absorción ocurre cuando las moléculas de agua suspendidas en la atmósfera terrestre extinguen sus fotones. Esto causa un decrecimiento en la densidad de potencia o atenuación en el haz de FSO y afecta directamente la disponibilidad del sistema. La absorción ocurre más fácilmente en unas longitudes de onda que en otras. De cualquier forma, el uso de la potencia apropiada, basada en condiciones atmosféricas, y el uso de la diversidad espacial (múltiples haces dentro de unidad basada en FSO) ayuda a mantener el nivel requerido de disponibilidad de red.[28, 29, 31]

CAPITULO 1

1.3.3 Dispersión

La dispersión es causada cuando las longitudes de onda chocan contra el elemento dispersor. El tamaño del elemento dispersor determina el tipo de dispersión. Cuando el dispersor es más pequeño que la longitud de onda, esto se conoce como dispersión de Rayleigh. Cuando el dispersor es de tamaño comparable a la longitud de onda, se le conoce como dispersión Mie. Cuando el dispersor es mucho más grande que la longitud de onda, se conoce como dispersión no selectiva. En la dispersión a diferencia de la absorción, no existe una pérdida de energía, solo una redistribución direccional de la energía que puede tener una reducción significativa en la intensidad del haz para largas distancias.[32, 33]

1.3.4 Obstrucciones físicas

Pájaros volando o maquinarias de construcción pueden llegar a bloquear temporalmente el haz FSO, pero esto tiende a causar solo pequeñas interrupciones, y las transmisiones son fácilmente y automáticamente restablecidas. Al usar sistemas con haces múltiples (dispersión espacial) se logra enfrentar el problema de las obstrucciones temporales.[34]

1.3.5 Estabilidad de la alineación

Un reto clave para los sistemas FSO es mantenerla alineación de los transmisores-receptores. Los transmisores-receptores FSO transmiten haces muy delgados y diseccionados que deben llegar a la apertura de recepción del que está ubicado al otro extremo del enlace. Un transmisor-receptor típico de un sistema FSO transmite uno o más haces de luz, cada uno con un diámetro de 5 a 8 cm los cuales se dispersan hasta 5 metros de diámetro a una distancia de 1Km. Adicional a este reto está el hecho que los receptores tienen un campo de vista limitado, que puede ser considerado como un “cono de aceptación” y es similar al cono de luz proyectado por el transmisor.[26, 35, 36]

1.3.6 Balanceo de edificios

El movimiento de los edificios puede perjudicar la alineación del receptor y del transmisor. Algunos fabricantes ofrecen un haz divergente para resolver el problema y mantener la conectividad.

CAPITULO 1

El movimiento de los edificios se produce por el viento o por actividades sísmicas. Las tormentas o los terremotos pueden provocar que los edificios se muevan lo suficiente para causar que los equipos pierdan su alineación. El problema puede ser enfrentado con la combinación de dos maneras que se complementan. A través de la divergencia del haz y del rastreo activo. Las técnicas son efectivas. Con la divergencia del haz, la transmisión del haz es intencionalmente habilitada para divergir o expandirse de forma que cuando llega al receptor, forma un cono óptico de tamaño considerable. Dependiendo del diseño del producto, el típico haz de luz FSO se subtiende en un ángulo de 3 a 6 mili radianes y tendrá un diámetro de 3 a 6 metros después de haber viajado un kilómetro. Si el receptor es posicionado inicialmente en el centro del haz, solo la divergencia puede tratar con muchas de las perturbaciones.[26, 28, 37]

1.3.7 Desviación del haz

La desviación del haz surge cuando remolinos de turbulencia de mayor tamaño que el diámetro del haz, causan desplazamientos lentos pero grandes del haz transmitido. Esto no ocurre mucho en las ciudades como en los desiertos en distancias muy largas. Cuando ocurre, sin embargo, el haz desviado puede fallar completamente su receptor objetivo. A semejanza del balanceo de los edificios, la desviación del haz está siendo enfrentada por medio del rastreo activo.[14, 29, 33]

1.3.8 Destellos

El aire calentado subiendo de la tierra o de dispositivos hechos por el hombre como ductos de calentamiento crea variaciones de temperatura entre bolsas de aire diferentes. Esto puede causar fluctuaciones en la amplitud de las señal lo que conlleva a una imagen en movimiento el extremo del receptor FSO.[28, 38]

1.3.9 Interferencia solar

Un sistema FSO usa un receptor altamente sensible en combinación con un lente de gran apertura, por lo tanto la luz de fondo natural puede interferir potencialmente con la recepción de la señal FSO. Esto es el caso especialmente de los altos niveles de radiación de fondo asociados con la luz del sol intensa. En algunas circunstancias, la luz solar directa puede causar interrupciones en el enlace por períodos de varios minutos cuando el sol está dentro del campo de vista del receptor.[28, 29]

CAPITULO 1

1.3.10 Direccionalidad

La radiación que sale del láser, lo hace en cierta dirección, y se dispersa con un ángulo de divergencia. Esta dispersión angular del rayo láser es muy pequeña comparada con otras fuentes de radiación electromagnética, y se describe mediante un pequeño ángulo de divergencia (del orden de mili-radianes). En la figura 1.14 se muestra una comparación entre la direccionalidad de una luz láser y la de una lámpara incandescente.[39]

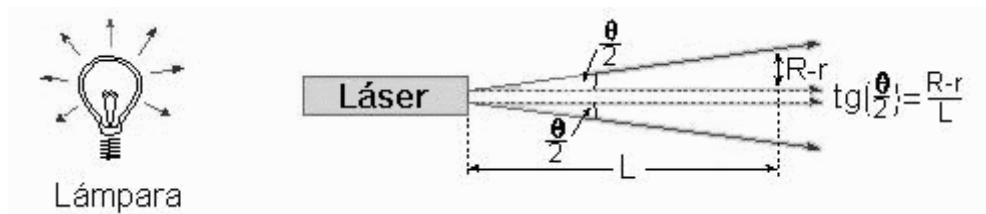


Figura 1.14 Direccionalidad de la luz láser Tomado de [24]

Las comunicaciones ópticas inalámbricas basadas en FSO son un producto de la categoría de exteriores inalámbricos que proveen la velocidad de la fibra con la flexibilidad del inalámbrico. Permite la transmisión óptica a velocidades de hasta 1.25 Gbps y con el uso de WDM podría llegarse a velocidades de 10Gbps. Esto no es posible con ninguna tecnología inalámbrica o de Radio Frecuencia.

1.3.11 Seguridad

Para los que no están muy familiarizados con la tecnología FSO, la seguridad puede ser un tema para preocuparse debido a que se usan láser para la transmisión. Las dos preocupaciones mayores se relacionan con la exposición de los ojos a los haces de luz y el uso de los altos voltajes dentro de los sistemas de luz y sus fuentes de poder. Para garantizar la seguridad de los usuarios de estos sistemas y de las personas en general se han designado estrictos estándares de seguridad y desempeño con los que los fabricantes deben cumplir.[40]

La seguridad de la red es otro factor muy importante para cualquier organización o empresa que traslada información delicada y confidencial a través de su red.

La protección de contraseñas o la encriptación de los datos son ejemplos de las medidas que existen para proteger las redes de espías externos.

Las medidas físicas no son ningún tipo de preocupación pues estos enlaces no son detectables por ningún instrumento de medición en el exterior.

CAPITULO 1

La intercepción de sistemas ópticos inalámbricos que operan con estrechos haces en el espectro infrarrojo es aún mucho más difícil. A tal punto que organizaciones militares y gubernamentales dependen completamente de tecnologías de transmisión de extrema seguridad.

1.4 APLICACIONES

Las aplicaciones de FSO son muy variadas entre las que se puede citar:

1.4.1 Extensiones de red metro

Las empresas de transporte despliegan la tecnología FSO para extender anillos de fibra metropolitanos ya existentes, para conectar nuevas redes y su infraestructura principal, para completar anillos Sonet.[41]

1.4.2 Acceso de última milla

FSO se usa en enlaces de alta velocidad que conectan usuarios finales con proveedores de Internet o de otras redes, también para dar continuidad a sistemas de redes locales para proveer conexiones de alta velocidad.

1.4.3 Conectividad empresarial

La facilidad con la que los enlaces FSO pueden ser instalados, les hace ser una opción ideal para interconectar segmentos de una red de área local que están ubicados en edificios separados por algunas calles públicas o por otras edificaciones.

1.4.4 Respaldo para fibra

Se despliegan para crear enlaces redundantes para respaldar fibra en lugar de instalar un segundo enlace de fibra.

1.4.5 Red de retorno (Backhaul)

También para transportar tráfico telefónico celular de torres para antenas hacia las instalaciones de cableado dentro de la red de telefonía pública. A medida que las redes inalámbricas han migrado de tecnología de segunda generación a tercera generación (3G), los requerimientos de ancho de banda crecen dramáticamente. La red de retorno de la red celular debe tener escalabilidad suficiente para adaptarse a esta creciente demanda de ancho de banda.

1.4.6 Aceleración de servicio

Proveen servicio instantáneo a usuarios de fibra óptica mientras su infraestructura de fibra está siendo instalada.

CAPITULO 1

1.4.7 Recuperación de desastres

La tecnología FSO es un importante componente en el plan de recuperación de desastres para una organización. Los enlaces pueden ser normalmente instalados dentro de un período de cuatro horas o menos, evitando que la empresa tenga que esperar por semanas o meses a que su proveedor instale los circuitos de cobre o fibra.

Fue utilizado como acceso de comunicaciones después de los atentados del 11 de Septiembre a las Torres Gemelas de Nueva York.

1.4.8 Transporte de medios digitales

Las demandas de los consumidores de audio y video de mayor calidad y con más opciones y programación interactiva han impulsado a la industria de los medios dentro del mundo digital. Hoy día las compañías de medios están migrando hacia un flujo completamente digital entre la captura, pasando por el almacenaje y la edición hasta la reproducción y la transmisión. Existen muchos ejemplos de estas compañías:

- ✓ Compañías de cable y satélite: requieren gran ancho de banda para la transmisión de televisión digital en los que se incluyen diferentes formatos.
- ✓ Industrias de grabación y postproducción: Necesitan la capacidad de transmitir alta calidad de video sin comprimir de forma segura entre locaciones en tiempo real. La portabilidad y movilidad son esenciales.
- ✓ Estudios de producción: Necesitan acceso a comunicaciones seguras de gran ancho de banda para la edición digital, procesamiento, y archivado.
- ✓ Empresas emisoras: Necesitan acceso rápido y seguro a fuentes de contribución tales como eventos especiales, deportes, anuncios, y noticias de última hora en un formato digital y en tiempo real.

CAPITULO 1

1.4.9 Extensión de celdas celulares en edificios

La creciente demanda de servicio móvil ha llevado a los proveedores a expandir sus redes a un paso sin precedentes. Sin embargo, la densidad de población de las áreas urbanas provoca que se incremente la dificultad para que la cobertura de red alcance a todos los usuarios. Existen muchas áreas como túneles, estadios cerrados, y elevadores donde la calidad de la señal es pobre o inexistente. En esas precisas áreas existen muchas veces una gran cantidad de suscriptores potenciales.

Debido a que no es práctico ni económico agregar celdas en cada sitio requerido existe la posibilidad de aplicar una extensión a una celda existente para conectarla a la construcción a la que interesa brindar cobertura. Por ejemplo, centros comerciales, parqueos subterráneos, hoteles, etc.

Las señales amplificadas dentro de la construcción de interés y un sistema repetidor redistribuye la cobertura inalámbrica.

1.5 Uso de la tecnología FSO

El uso que más ampliamente se ha dado a la tecnología FSO es el de proveer extensiones LAN inalámbricas entre edificios de un campus.

Sin importar si la red se encuentra en el campus de una universidad, una corporación, un hospital, entidad del gobierno o militar, los sistemas FSO ofrecen desempeños de enlaces con calidad de una empresa de transporte que los usuarios requieren. A diferencia de los sistemas inalámbricos RF, la tecnología FSO es segura de forma inherente. No sufre por la interferencia electromagnética o por problemas de licencia.

Es una opción importante cuando el tendido de fibra se plantea muy difícil o muy costoso. Ofrece velocidades de transmisión equivalentes a las de la fibra óptica y con un desempeño comparable de tasa de error.[42]

La creciente demanda para conectividad de red de información en tiempo real ha resultado en que las organizaciones se vean en la necesidad de integrar partes geográficamente aisladas de la compañía o incrementar el ancho de banda de aquellas partes que ya están dentro de la infraestructura de la LAN. Un enlace FSO provee una solución de costo fijo que ofrece suficiente ancho de banda para satisfacer los objetivos de conectividad de la red empresarial y ofrece en teoría un atractivo retorno de inversión.[43]

1.6 Conclusiones parciales

CAPITULO 1

Existen dos distintos tipos de comunicaciones ópticas de gran ancho de banda: por fibra óptica y los sistemas ópticos inalámbricos basados en la tecnología de la Óptica del espacio libre FSO (Free Space Optics). Para el desarrollo de redes de larga distancia, no existe mejor alternativa que por cables de fibra, la cual es capaz de transportar información a velocidades de 40 Gbps cuando se combina con la tecnología DWDM (Multiplexación densa, por división de longitud de onda). Sin embargo, para realizar conexiones sobre distancias que pueden denominarse cortas en ciudades, lo que correspondería a la última milla entre la fibra y la mayoría de los usuarios finales, es tan satisfactorio el desempeño de la fibra como el de las soluciones ópticas inalámbricas. Ambas tecnologías provienen del mismo árbol familiar y tienen una gran cantidad de similitudes.

La integración de la fibra con la tecnología óptica inalámbrica permite varias ventajas, debido a sus características en común. Primero, las soluciones ópticas inalámbricas pueden usar las mismas longitudes de onda para transmisión óptica utilizadas por la fibra (850nm y 1550 nm). Segundo, las comunicaciones ópticas inalámbricas y la fibra pueden utilizar los mismos componentes, tales como láser, receptores y amplificadores. Tercero, ambas tecnologías pueden transmitir información digital utilizando un mismo grupo de protocolos. Cuarto, la comunicación óptica inalámbrica puede entregar un ancho de banda de hasta 2.5 Gbps que es suficiente para complementar las redes de fibra.

2 CAPÍTULO 2: DISEÑO DE LA RED DE ACCESO

En este capítulo se presenta la propuesta de diseño de la red de acceso, que puede dar solución a la carencia o insuficiencia de la infraestructura tecnológica las comunicaciones en la ciudad de Ciego de Ávila.

2.1 Dimensionamiento de la red

La ciudad de Ciego de Avila está ubicada en la zona central del país donde el terreno es llano, aunque existen pocas elevaciones ubicadas al norte de la provincia que no son objeto de estudio en esta investigación. En la ciudad existen edificaciones elevadas que permiten que se tenga línea de visión directa hacia cada una de ellas. Las sedes de la mayoría de los organismos de referencia están en estas edificaciones, como el Hospital Provincial, la Escuela de Medicina, la sede del Partido Comunista de Cuba, la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, los Hoteles Ciego de Avila, Santiago Habana, Sevilla, el Telecentro de TV y otros de importancia para la provincia.

Los servicios de telecomunicaciones que se ofrecen al sector son insuficientes, siendo fundamentalmente servicios telefónicos tradicionales utilizando técnicas como SHDSL para transportar flujos de 2,048 Mbts/s para las pizarras privadas y de datos a bajas velocidades a través de las técnicas DSL. Estos se ofrecen a través de una red de cobre mayormente con distribución rígida, que parten de la única Central Telefónica. Esta red de cobre en su mayoría tiene más de 20 años en explotación.

Actualmente, los servicios de mayor ancho de banda son los de datos y estos están en el rango de 512 Kbt/s, distribuidos por toda la ciudad por estas redes de cables de cobre, los más lejanos tienen el inconveniente que disminuye la velocidad con la distancia y aumenta la degradación del servicio.

Si un cliente situado a una distancia mayor de dos kilómetros de la central telefónica solicita servicios que demanden gran ancho de banda, estos no podrán ser brindados a través de las redes de cobre existentes, entonces es necesario acercar un punto de distribución de gran ancho de banda, que puede ser una distribución por cable de fibra óptica u otro medio similar.

Los planes de desarrollo de ETECSA para la provincia de Ciego de Avila están limitados, se prevé un incremento de los servicios de telefonía y la entrega de servicios de datos en entornos residenciales cuando este lista la Red Cuba, esto es en el futuro pero en la actualidad hay un estancamiento tecnológico importante.

Hoy se demanda servicios de ancho de banda apreciable por algunas empresas y no se pueden ofrecer por no contar con la tecnología adecuada, de estos servicios el más demandado es la videoconferencia y el transporte de vídeo. En la tabla 3.1 se relacionan organismos e

CAPITULO 2

instituciones, además los servicios con que cuentan hoy y los demandados, teniendo en cuenta la distancia al centro telefónico.

En el caso del Hospital Provincial está solicitando una línea de alta velocidad para la conexión con la Escuela de Medicina y comenzar a transmitir videos de las intervenciones quirúrgicas realizadas a pacientes y que en tiempo real puedan ser vistas por los estudiantes de la Escuela de Medicina.

Estos servicios exigen ciertos requisitos de velocidad o ancho de banda que la empresa de comunicaciones no está en condiciones de ofrecer por no estar en buen estado y tener longitudes excesivas las redes de cobre que soportarían las técnicas DSL.

Atendiendo a los requisitos necesarios, se propone para la red de acceso una estructura en estrella para la conexión de los distintos clientes empresariales. Se plantea la ubicación de los terminales interconectados con tecnología FSO y de estos al usuario final la utilización de una red de cobre para brindar los servicios de telefonía y datos.

2.1.1 Análisis y Diseño de la Estructura de la Red Inalámbrica Óptica a implantar

Para iniciar este análisis y diseño, lo que se efectuó como primer punto fue conocer el estado de las conexiones, con la finalidad de saber al dedillo la estructura de la red, y los diferentes medios de comunicación utilizados entre las diferentes edificaciones.

Este análisis también permitió conocer el rendimiento de toda la red; tales como la capacidad de cada canal de comunicación, la velocidad de transmisión de datos y disponibilidad de la red.

Tabla 2.1 Análisis de las líneas de banda ancha instaladas en la ciudad de Ciego de Ávila.

Organismo	Servicio	Tecnología	Velocidad
Hospital Provincial	Pizarra	SHDSL	2,048 MBts
	Datos	SHDSL	2,048 MBts
	Videoconferencia	?	
Escuela de Medicina	Pizarra	SHDSL	2,048 MBts
	Datos	SHDSL	2,048 MBts
	Videoconferencia	?	
Edificio 12 Plantas	Pizarra	SHDSL	2,048 MBts
Edificio 9 Plantas	Pizarra	SHDSL	2,048 MBts
PCC Provincial	Pizarra	SHDSL	2,048 MBts
	Datos	ADSL	128 KBts
Telecentro Ciego TVA	Datos	ADSL	128 KBts
	Video	?	
Centro Transmisor de TV	Datos	ADSL	64 KBts
Hotel Santiago Habana			
	Datos	ADSL	64 KBts
Hotel Ciego de Avila			
	Datos	ADSL	64 KBts

CAPITULO 2

	Video	?	
Almacenes Universales	Datos	ADSL	64 KBts

2.1.2 Distancias entre las Edificaciones de la Ciudad Ciego de Ávila

Para la realización del diseño general de la red inalámbrica óptica laser se requiere conocer en primera instancia las distancias en metros existentes entre las diferentes edificaciones al Centro Telefónico, las cuales permiten determinar el tipo de equipo láser que cubra las necesidades del diseño a realizar según tabla 2.2

Tabla 2.2 Distancias desde el Centro de Telecomunicaciones.

Organismo	Distancia al Centro Telefónico
Hotel Ciego de Ávila	1017,83 mts
Hotel Santiago Habana	80,41 mts
Hospital Provincial	875,97 mts
Escuela de Medicina	2574,31 mts
Almacenes Universales	3376,26 mts
Centro de Televisión	3074,12 mts

Se establece las respectivas distancias en línea recta o línea de vista entre las edificaciones, como se muestra en la siguiente figura. 2.1

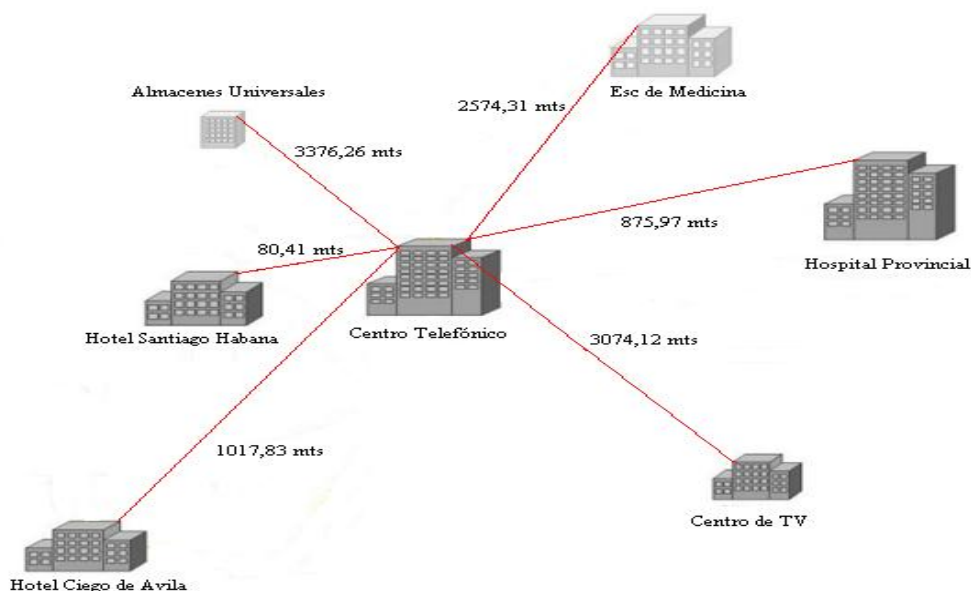


Figura 2.1 Distancias desde el Centro Telefónico a los edificios. Fuente propia

CAPITULO 2

2.1.3 Análisis de la Infraestructura de cada entidad

Se determina que en:

Hospital Provincial Antonio Luaces Iraola:

Los enlaces con que cuentan actualmente es por la red de pares de cobre (SHDSL), con un servicio insuficiente, este lugar es el más importante, este sitio requiere de los servicios de red de banda ancha para poder comenzar a transmitir las intervenciones quirúrgicas a la Escuela de Medicina u otros hospitales del país. Sugiere que se cuente con una red estable y eficiente para mantener la intranet y el acceso a internet de la institución.

Escuela de Medicina:

Esta edificación tiene un enlace por la red de cobre con un punto de red para el acceso a internet y la intranet limitadas en velocidad y no cuenta con acceso de gran ancho de banda para poder recibir el video de las salas quirúrgicas del hospital provincial u otros hospitales del país.

Complejo Hotelero:

El Complejo está compuesto por los Hoteles Santiago Habana y Ciego de Ávila, cuenta con varias edificaciones, ambas edificaciones tienen un enlace por la red de cobre con un punto de red para el acceso a internet y la intranet limitadas en velocidad.

Ambos hoteles, físicamente están separados por varios kilómetros y cuentan con redes de distribución de TV por cable a todas las habitaciones, esta TV es recibida por sistemas satelitales instalados en las instalaciones de forma independiente aun pertenecientes a la misma red, solo requieren de mayor ancho de banda para la conexión a internet

Centro de Transmisión de Ciego TVA:

A esta edificación llegan los canales de televisión por enlaces de microondas, desde aquí se transmiten los cinco canales nacionales que llegan a la provincia por la fibra óptica nacional, no llegando al centro por esta misma vía, requiere de una nueva conexión de gran ancho de banda para la interconexión con el centro transmisor donde están ubicados los transmisores de alta potencia de la provincia.

2.1.4 Diseño de la Red Inalámbrica Óptica

En la figura 2.2 se detallan las distancias en línea recta o línea de vista a cada edificación desde el centro Telefónico, lugar donde cada equipo debe montarse en una posición que permita línea de vista con el otro extremo, para lograr esto se debe subir al lugar en la azotea del edificio donde se colocará el terminal FSO y con binoculares lograr ver el otro lugar en el edificio distante donde se colocara el otro terminal, y que además no existan posibles construcciones o desarrollo de la vegetación en el futuro que puedan obstruir el enlace.

Las condiciones climáticas de la ciudad permiten el despliegue de esta tecnología, los niveles de lluvia no son elevados, y la cantidad de niebla es leve, según la tabla 2.3, por lo que la

CAPITULO 2

atenuación por estos factores esta en el rango de los 2,9 a 1,03 dB/km y la visibilidad alcanza los 10 km.

El enlace Centro de Comunicaciones-Escuela de Medicina se modifica por dos razones de peso, la primera por estar en la dirección este-oeste, esto implica perturbaciones en el enlace por saturación de los receptores por efectos del sol, y la segunda es que el enlace es el más largo y se necesita más potencia para alcanzar el receptor.

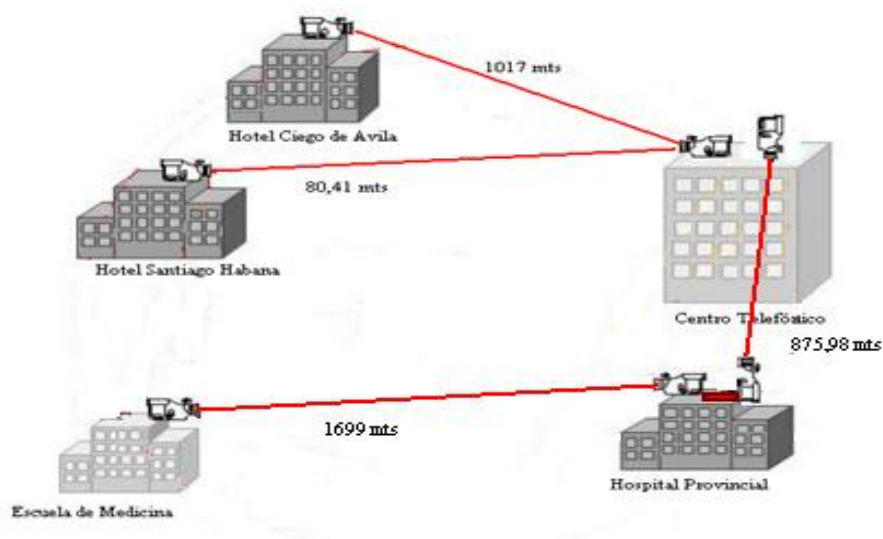


Figura 2.2 Distancias desde el CT a los edificios Fuente propia

Efectuado un acercamiento, en cuanto a la estructura de conexión punto a punto de los equipos ópticos, se podrá visualizar que cada equipo óptico se conecta a través de fibra óptica, en el extremo del cliente se conecta al punto de red existente por medio de la interface con que cuenta el cliente, puede ser con un convertidor (*Transceiver*) de Fibra Óptica a RJ45 y viceversa o solo con RJ45 al conmutador existente, según se muestra en la figura 2.3, en el caso del lado de la Central Telefónica se conecta a la red de transporte, en el punto intermedio, donde se le da continuidad al enlace se debe utilizar un convertidor con interfaces ópticas hacia los equipos ópticos e interface Ethernet hacia le red LAN del cliente.

CAPITULO 2

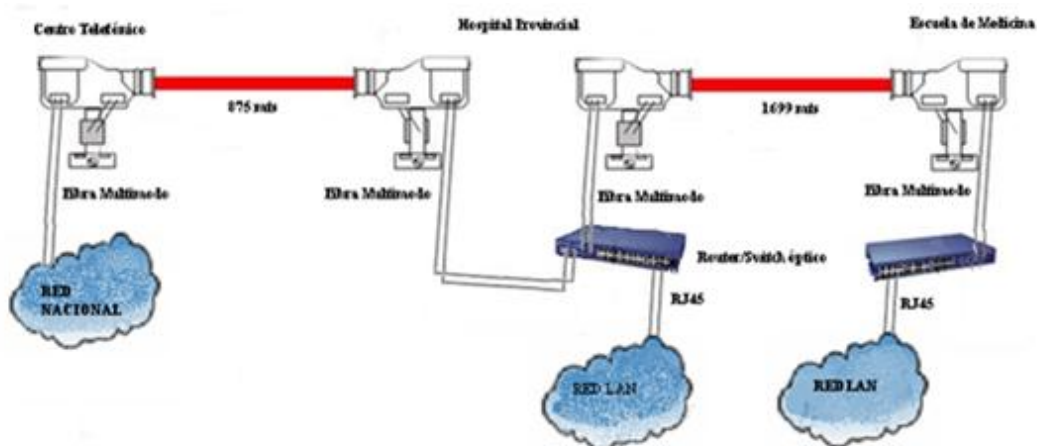


Figura 2.3 Esquema de conexión equipo ópticos. Fuente: Propia

En el caso del equipo óptico es necesario conocer en primer lugar las características principales del sistema óptico que deben ser satisfechas.

Una vez conocida estas necesidades se procederá a explicar cada una de ellas; empezando por el medio de comunicaciones, donde se discutirán los diferentes fenómenos que suceden cuando el rayo láser viaja a través del aire, y cómo se previenen pérdidas en la potencia de la luz por estos fenómenos. Luego se procederá a elegirla ubicación del lugar de instalación, así como determinar la distancia en que estos se encontrarán y la clase de clima que enfrentará el sistema.

2.1.5 Partes del sistema y sus características

El sistema de red óptica inalámbrica está compuesta por tres partes bien diferenciadas, las cuales constan de: el medio ambiente, el cual juega un papel decisivo al momento del diseño, el sistema de haces de luz y por último pero no menos importante el sistema de alimentación.

En primer lugar tenemos el medio ambiente, el cual cumple un papel decisivo, debido a que este es uno de los elementos más vulnerables del sistema dado que es el que brinda la mayor interferencia que puede sufrir la red. En medios demasiados agrestes, el sistema puede llegar a colapsar y la comunicación queda totalmente interrumpida. Por esta razón tenemos que conocer las características fundamentales de la tecnología para luego poder hacer un cálculo efectivo del enlace.

CAPITULO 2

2.2 Ecuación del enlace FSO

La ecuación del enlace para un sistema FSO es muy simple a un alto nivel, es decir, al dejar fuera de consideración la eficiencia óptica, detectores de ruido, etc. La cantidad de potencia recibida es proporcional a la cantidad de potencia transmitida y del área de la apertura de recepción. Es inversamente proporcional al cuadrado de la divergencia del haz y al cuadrado de la distancia del enlace. También es inversamente proporcional al exponencial del producto del coeficiente de atenuación atmosférica por la distancia del enlace.[44]

Fórmula: 2.1

$$P_r = P_{trans} - \frac{A_r}{(Div, R)^2} \cdot e^{(-\alpha, R)}$$

Donde:

A_r = área de recepción

α = coeficiente de atenuación atmosférica (1/km)

Div = divergencia del haz

R=distancia.

Observando esta ecuación, las variables que se pueden controlar son: la potencia transmitida, el tamaño de la apertura de recepción, divergencia del haz, y la distancia del enlace. El coeficiente de atenuación atmosférica es incontrolable en un ambiente de exterior y es independiente de la longitud de onda en condiciones de atenuación demasiado pesadas. Desafortunadamente, la potencia recibida es exponencialmente dependiente del producto del coeficiente de atenuación atmosférica y la distancia. En condiciones atmosféricas reales, para productos de clase de empresas de transporte, este término domina a todo lo demás en esta ecuación.

CAPITULO 2

2.3 Margen de enlace

Es un parámetro muy revelador al describir el desempeño de un sistema FSO. Básicamente, es la cantidad de luz recibida por un receptor por encima o por debajo del nivel requerido para mantener el enlace activo. Este margen es medido usualmente en decibeles.

$$dB = 10 \cdot \log(\text{Potencia} / \text{Potencia mínima})$$

Algunos fabricantes ofrecen mejorar el margen del enlace mediante transmisores capaces de emitir una potencia considerablemente mayor que la usada comúnmente. Así como el uso de varios láseres para incrementar el nivel de potencia y a la vez proveer cierto nivel de redundancia.[44] La potencia recibida por un terminal en un extremo de un enlace FSO puede ser calculada con la siguiente ecuación:

Fórmula: 2.2

$$P_r = P_{transm} * \frac{L * d_r^2}{\theta^2 * R^2 * 1e^6} * 10^{(-\alpha * R/10)}$$

P = potencia (mW)

L = pérdidas ópticas en transmisión y recepción (%/100)

d_r = diámetro de apertura del receptor (m)

θ = divergencia del haz (radianes)

R = distancia (km)

α = Atenuación atmosférica (dB/km)

La relación entre la potencia recibida y la mínima requerida por la sensibilidad del receptor expresada en dB es el margen del enlace.

Fórmula: 2.3

$$\text{Margen de Enlace} = 10 * \log\left(\frac{P_r}{S}\right)$$

Se puede observar en las ecuaciones que el margen del enlace es una función bastante compleja de la distancia del enlace y de la atenuación atmosférica. De cualquier forma esta dependencia específica de las condiciones del enlace, se puede separar de los parámetros que corresponden propiamente a los equipos del sistema FSO.

2.4 Distancia de transmisión

CAPITULO 2

La tecnología FSO es aplicable en casos en los que la distancia a cubrir por el enlace es de algunas cuerdas o bien de hasta algunos pocos kilómetros (4 ó 5). Esta limitante es debida a aspectos tales como la atenuación atmosférica, la sensibilidad del receptor, el ángulo de divergencia. A distancias mayores, la importancia de estos factores, provocaría verdaderas dificultades al sistema a pesar de que entre los dos puntos exista una clara línea de vista.[25]

En el proceso de planeación de un sistema FSO, se recomienda que alguien revise la tabla de niebla de la ciudad y la distancia estimada de la conexión. Las especificaciones del producto hechas por el fabricante, deben ser usadas para asegurarse que el producto se desempeñara de una manera satisfactoria. Otro factor relacionado con la limitación de la distancia de las conexiones es la atmósfera en sí.

Se deben hacer cálculos para determinar la cantidad del margen del enlace dedicada a la atenuación por niebla y finalmente se determina la longitud máxima del enlace, según la ecuación:

Fórmula: 2.4

$$\text{Longitud}(km) = \frac{\text{Margen del enlace}(db)}{\text{Atenuación por Niebla}(db/(km))}$$

2.5 Factores a considerar en el enlace FSO

Al evaluar el desempeño de un sistema FSO, es importante tomar en cuenta varios parámetros del mismo. En general se les puede dividir en dos categorías: Parámetros internos y externos.

Los parámetros internos se relacionan con el diseño del sistema e incluyen la potencia óptica, longitud de onda, ancho de banda, ángulo de divergencia, y pérdida óptica en la transmisión y sensibilidad del receptor, tasa de bits errados (BER), diámetro del lente receptor, y campo de vista del receptor.

Los parámetros externos se relacionan con el ambiente en el que el sistema debe operar e incluyen la visibilidad y la atenuación atmosférica, centelleo, distancia, pérdida de ventana y pérdida de dirección. Es importante entender que varios de estos parámetros no son independientes sino se encuentran ligados en el desempeño global del sistema.[35]

En cualquier sistema FSO existen parámetros fundamentales que determinan la cantidad de luz que llega de un extremo al otro y por lo tanto el desempeño del sistema.

2.5.1 Potencia transmitida

CAPITULO 2

Mayor potencia significa que se puede penetrar más en la atmósfera y lograr enlaces más largos. Por otro lado para una distancia determinada, una mayor potencia puede incrementar la disponibilidad del enlace (cantidad de tiempo que el enlace esta activo) porque puede trabajar con climas más difíciles.

Los sistemas que usan láser en el rango de 850 y de 1550 nm deben cumplir con las siguientes características:

- ✓ Habilidad para trabajar a potencias mayores (importante para el caso de sistemas de distancias mayores)
- ✓ Alta velocidad de modulación(importante para sistemas de alta velocidad)

2.5.2 Bajo consumo de potencia

Permite operar en un amplio rango de temperaturas sin afectar el desempeño. (para sistemas en exteriores). Para cumplir con los requerimientos anteriores, los fabricantes de equipos FSO generalmente usan VCSELs para operaren el rango Infra Rojo de longitudes de onda más cortas y Fabry Perot (FP) o Láser de realimentación distribuida (DFB) para operaren el rango Infra rojo de longitudes de onda mayores.

2.5.3 Fuentes de Amplificación

Las fuentes de amplificación tales como EDFA y los amplificadores ópticos semiconductores (SOAs), son usadas para elevar la potencia de fuentes láser de baja potencia. Las tecnologías EDFA y SOA también pueden amplificar tanto una longitud de onda como varias longitudes ligeramente espaciadas de forma simultánea, lo cual es conocido como WDM. Con ganancias ópticas muy grandes que exceden los 30 dB, las EDFA pueden manejar la potencia óptica de salida de un sistema óptico de 1550 nm hasta un rango entre 1 y 2 vatios. El uso de las fuentes EDFA tiende a estar limitado a sistemas de muy alto desempeño que operan por encima de 1 Gbit/s.[13]

2.5.4 Potencia de salida promedio

La potencia de salida promedio de un sistema de transmisión es un factor clave al determinar el margen del enlace debido a que, como en la mayoría de los sistemas de comunicación digital por fibra, los sistemas FSO son digitales en términos de su transmisión de bits a través del enlace.

Esta potencia promedio es la que es usada para la clasificación de seguridad para la vista y es típicamente usada para definir la potencia transmitida por un transmisor-receptor FSO.

CAPITULO 2

2.5.5 Divergencia del haz transmitido

Los haces de luz que salen del transmisor no son perfectamente paralelos, tienen un ángulo cónico o de divergencia. Debido a esto la luz se dispersa a medida que se aleja del transmisor, de tal forma que la sección transversal del haz puede ser mucho mayor para cuando llega del lado del receptor por lo que no toda la luz del haz entra en la apertura de recepción y mucha de ella es perdida a los costados del equipo terminal. Al minimizar la divergencia del haz, más luz se puede concentrar en la apertura de recepción del terminal opuesto. (Figura2.4).

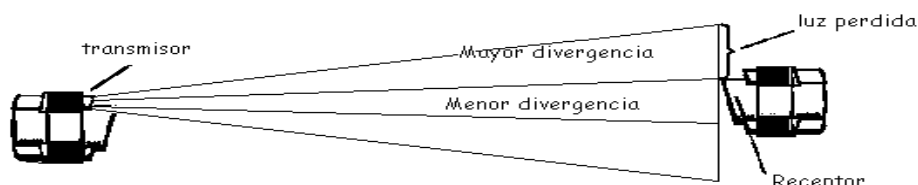


Figura 2.4 Divergencia del Haz. Tomado de [45]

En el mundo real, reducir la divergencia del haz, conlleva a otros problemas. En particular, entre menor es la divergencia, es más difícil mantener el haz alineado con la línea de vista entre las dos terminales.

Disturbios externos como el movimiento de las construcciones, vibraciones del suelo, ráfagas de viento, causan que los terminales se muevan en relación con la línea de vista y que el haz transmitido no llegue al punto necesario (figura2.5).

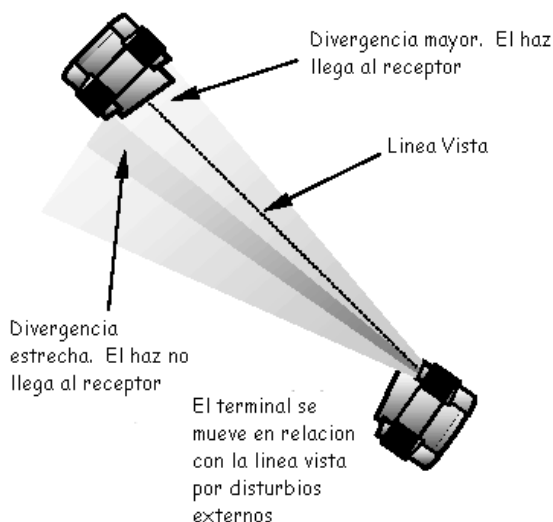


Figura 2.5 Pérdida de dirección del Haz. Tomado de [13]

CAPITULO 2

La curva de potencia que define el haz no es constante a través del área transversal del haz. Es más bien una distribución Gaussiana. La forma en que se define el ancho de este haz Gaussiano, es de cierta forma arbitrario (figura2.6).

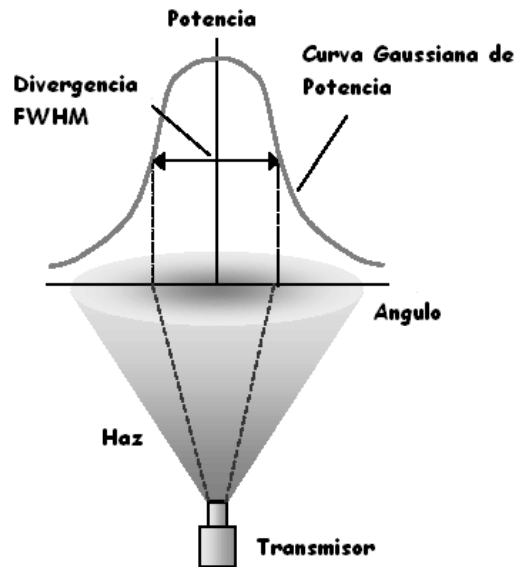


Figura 2.6 Divergencia del Haz. Tomado de [13]

Típicamente, el ancho del haz óptico de un transmisor receptor FSO es relativamente amplio (divergencia de 2-10 mrad, lo que equivale a una dispersión del haz de 2 a 10 m a una distancia de 1 Km).

Si el sistema provee de una alineación y rastreo automáticos, entonces el ancho del haz puede ser disminuido considerablemente (divergencia de 0.05 –1.0 mrad, equivalente a una dispersión de haz de 5 cm a 1 metro a una distancia de 1 Km), conduciendo esto a una mejora en el margen del enlace y a proveer al sistema con un mayor margen para combatir las condiciones climáticas adversas.[46, 47]

2.5.6 Sensibilidad del receptor

Sin importar la cantidad de luz que llega a la apertura de recepción, el receptor debe ser capaz de medir hasta la menor cantidad de señal posible. La sensibilidad del receptor está definida como la potencia mínima que puede ser detectada mientras se mantiene una tasa de errores de 1×10^{-6} .

2.5.7 Pérdidas ópticas

Así como la luz debe viajar a través de la atmósfera, también debe pasar a través del sistema óptico de cada terminal antes de llegar finalmente al receptor. En algunos casos, esto puede involucrar también una ventana externa. Cada componente óptico puede absorber, reflejar, o dispersar cierta porción de la luz, reduciendo la potencia total recibida. Por lo tanto es importante el diseño de un sistema óptico de transmisor-receptor muy eficiente. Las mayores fuentes de pérdidas ópticas son las pérdidas de inserción, los lentes, geométricas, atmosféricas y de propagación. Las pérdidas geométricas ocurren debido a la divergencia del haz. Estas pérdidas pueden ser calculadas usando la siguiente fórmula.[26]

Fórmula: 2.5

$$\frac{A_R}{A_B} = \left(\frac{D_R}{D_T + 100 * d * \theta} \right)^2$$

D_T y D_R son los diámetros de los lentes transmisor y receptor medidos en cm. La distancia entre el transmisor FSO y el receptor es d , medida en km. θ es la divergencia del haz laser transmitido en mrad.

Las pérdidas de inserción típicas para enlaces FSO comerciales se encuentran alrededor de los 4 dB. En la figura 2.7 se presenta una comparación de los sistemas FSO y de Fibra óptica en relación a la atenuación mientras que en la tabla 2.3 se indican algunos valores de referencia para las pérdidas y visibilidad en enlaces FSO.

CAPITULO 2



Figura 2.7 Atenuación en sistemas FSO y en Cables de fibra Óptica, Fuente:[48]

Tabla 2.3 Pérdidas y visibilidad en enlaces FSO, Fuente:[32]

Descripción	Visibilidad	Pérdidas
Niebla densa	40-70m	392-220dB/km
Niebla espesa	70-250m	220-58dB/km
Niebla moderada	250-500m	58-28.2 dB/km
Niebla leve	500-1000m	28.2-13.4dB/km
Niebla escasa	1-2km	13.4-6.3 dB/km
Neblina	2-4km	6.3-2.9 dB/km
Neblina leve	4-10km	2.9-1.03dB/km
Despejado	10-20km	1.03-0.45dB/km
Muy despejado	20-50km	0.45-0.144dB/km
Extremadamente despejado	50-150km	0.144-0.03dB/km

2.5.8 Longitud de onda

La longitud de onda a la que se opera también contribuye con el desempeño del receptor. Es generalmente cierto que fotodiodos de mayor calidad logran comparables eficiencia tanto en 800 nm como en 1550 nm. Sin embargo, las longitudes de onda mayores tienen ventaja en el receptor debido a su menor energía fotónica. Un fotón de 1550 nm tiene la mitad de la energía de uno de 800nm. Debido a esto, por la misma cantidad de energía, un haz de luz de 1550 nm tiene el doble de fotones que uno de 800 nm. Esto resulta en el doble de fotoelectrones creando corriente en el fotodiodo del receptor.

Es de notar que los límites de seguridad para la vista varían de acuerdo con la longitud de onda. Los equipos ópticos inalámbricos que se encuentran actualmente en el mercado pueden ser clasificados en 2 grandes categorías.[49]

CAPITULO 2

Los sistemas que trabajan a la longitud de onda cercana a los 800 nm y los que trabajan cerca de los 1550 nm.

Al considerar diferentes aspectos se puede llegar a determinar que la opción más apropiada es utilizar longitudes de onda cercanas a los 1550 nm, el mismo rango que se usa en los sistemas de comunicación por fibra óptica.

2.5.9 Tasa de error de bit, Tasas de transferencia y rango

A diferencia de los sistemas de fibra óptica donde el canal es bien conocido y caracterizado, los sistemas FSO tienen varias condiciones de propagación con severa atenuación atmosférica que pueden causar que el BER se comporte de una manera casi binaria.

Debido a que los sistemas FSO en general, bajo las condiciones donde se necesita el mejor desempeño, se comportan ya sea totalmente libre de errores, o bien con demasiados errores cuando se encuentran con severas atenuaciones atmosféricas, no tiene sentido realizar diseños para operar con tasas de error moderadas.

Si se observa la grafica de BER contra distancia para un sistema Gigabit Ethernet de la figura 2.8, se puede observar que si se disminuyen los requisitos de BER, de 10^{-12} a 10^{-6} por ejemplo, se logra un aumento en la distancia del enlace de 10 a 15 metros únicamente. Lo mismo se puede observar al analizar el tema de la tasa de transferencia. Si se reduce la velocidad de un enlace de 1 Gbit/s a 100 Mbit/s, manteniendo el mismo requisito de tasa de error, solo se obtiene la capacidad para extender el enlace 30 metros más.[25]

Para las empresas de telecomunicaciones, el mejor diseño para sistemas FSO es el que lleva a los componentes hasta su límite en términos de velocidad y tasa de error. La reducción de los requisitos para cualquiera de estos dos factores, no consigue un crecimiento significativo en el desempeño para la distancia del sistema.

CAPITULO 2

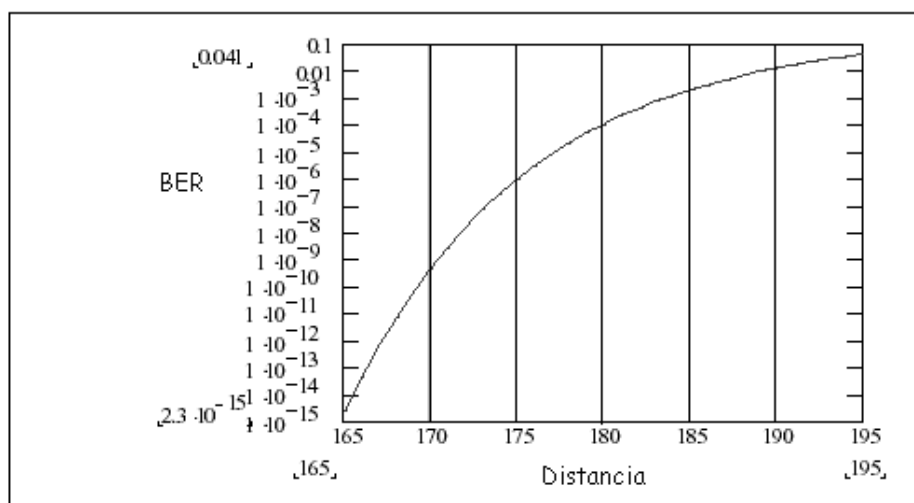


Figura 2.8 BER versus distancia a 1.25 Gbit/s. (Fuente: Física de la óptica en el Espacio Libre.)

Uno de los métodos clave para determinar que tan bueno es el desempeño de un enlace FSO, es el cálculo de un presupuesto de enlace. Como mínimo, un presupuesto de enlace es usado para predecir la cantidad de margen o potencia extra, que estará disponible en un enlace bajo cualquier tipo de condiciones operativas. Este margen puede ser integrado con un modelo de atenuación atmosférica para calcular la disponibilidad esperada sobre la base de pérdidas por dispersión y destellos. Típicamente, un presupuesto de enlace FSO incluye entradas de datos para potencia transmitida, sensibilidad del receptor, pérdidas del sistema óptico, pérdidas geométricas, y pérdidas por pérdida de alineación.

2.5.10 Selección del terminal óptico

Existen diferentes empresas que proveen equipos ópticos, a nivel mundial.

En la tabla 2.4, se especifican algunos costos de diferentes proveedores, los precios establecidos por cada empresa, incluyen el kit de los equipos; es decir soportes, bases, conectores.

Realizando un análisis en cuanto a costo y beneficio de los equipos mencionados en la tabla 2.3, se ha determinado que una de las características más importantes es la potencia con la que trabajan, debido a que, “mientras mayor potencia existe el enlace de comunicaciones es más estable”, siendo el equipo TereScope 5000/G, el de más opciones, pues alcanza velocidades de hasta 1250 Mbps. y distancias hasta los 3000 mts, suficientes para alcanzar los 1699 mts que existen en línea de vista desde el Hospital provincial hasta la escuela de Medicina

CAPITULO 2

Tabla 2.4 Relación de costos de diferentes proveedores. Tomado de [50]

Empresa	Modelo	Características principales	Costo
PAV	PAV Lite Gigabit	Velocidad: 1Gbps. Estándar de Transmisión: Fast Ethernet, Gigabit Ethernet. Alcance: hasta 1000mts.	\$26500
PAV	PAV Express155	Velocidad: 155 Mbps. Alcance: hasta 200mts.	\$7430
fSONA	SONAbeam1250E	Velocidad: 100–1602 Mbps. Estándar de Transmisión: Gigabit Ethernet. Alcance: 50 a 3600mts.	\$28900
fSONA	SONAbeam155E	Velocidad: 31 – 180 Mbps. Estándar de transmisión: Fast Ethernet. Alcance: 50 – 3300mts.	\$18000
PLAINTREE	WB5100	Velocidad: 100Mbps. Estándar de Transmisión: Fast Ethernet. Alcance: hasta 1000mts.	\$11368
MRV	TeresCope5000G	Velocidad: 100 – 1250 Mbps. Estándar de Transmisión: Gigabit Ethernet. Alcance: hasta 3000mts.	\$27000

2.5.11 Análisis económico

En la tabla 2.4, Relación de costos de diferentes proveedores a nivel mundial se especifican los costos respectivos por cada proveedor.

Realizando un análisis en cuanto a costo y beneficio de los equipos mencionados en el cuadro anterior, se ha determinado que una de las características más importantes es la potencia con la que trabajan, debido a que, “mientras mayor potencia existe el enlace de comunicaciones es más estable”, siendo el equipo TereScope 5000/G, el que cumple con los requisitos.

Una vez seleccionado el equipo a utilizar, se detalla en la siguiente tabla 2,5 el costo total aproximado de lo que sería la implantación de la nueva red inalámbrica óptica.

Tabla 2.5 Costos de implantación de la nueva red

n _o	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Equipos ópticos (incluye equipo emisor y receptor, instalación, kit de herramientas, garantía 1 año, transporte, transceiver)	2	27000 \$	54000 \$

CAPITULO 2

2	Cable de fibra óptica 4 hilos (m)	10	5,65 \$	56,50 \$
3	Conectores de Fibra tipo SC	8	4,5 \$	36 \$
total				54092,5 \$

2.5.11.1 De instalación con fibra óptica

Después de haber calculado el costo total para la implantación de la nueva red inalámbrica óptica determinada anteriormente, se ha visto la necesidad de efectuar una comparación en cuanto a costo-beneficio, basándose en el mismo diseño de red, pero en este caso utilizando como medio de enlace la fibra óptica, se detalla en la siguiente Tabla:2,6

Tabla 2.6 Costos de implantación de la misma red con fibra óptica.

n _o	Descripción	cantidad	precio unitario	Precio total
1	Mano de obra			
	Instalación por metro de Fibra Óptica Multimodo 62,5/50 μ m, (no importa el número de hilos)	1000	1,50 \$	1500 \$
	Conectorización de fibra óptica (por conector tipo SC - punto)	40	35 \$	1400 \$
	Certificación de Fibra (por hilo)	20	25 \$	500 \$
	Ductería (semanas)	6	400 \$	2400 \$
2	Material			
	Bandeja de Fibra Óptica con conectores SC	8	180 \$	1440 \$
	Conectores de Fibra tipo SC	40	4,5 \$	180 \$
	Cable de fibra óptica 4 hilos	1000	5,65 \$	5650 \$
	Patch Cord Full-Duplex de fibra multimodo tipo SC-SC longitud 3 pies (uno por pareja de hilos TX-RX)	20	24 \$	480 \$
	Transceiver para la comunicación de datos (Conversor Fibra-Ethernet 10/100)	8	180 \$	1440 \$
	Material de construcción de ductería (arena y cemento)			3500\$
total				18490 \$

En referencia al costo de la nueva red a implantarse, se puede notar que la red con enlaces ópticos es más caro, que la red con fibra óptica, cabe recalcar que indudablemente la diferencia es bastante elevada, debido a que una red con enlaces ópticos tiene varios factores que supera a los enlaces de fibra, como son: seguridad, estabilidad, rendimiento, tiempo de instalación, recuperación de la inversión, facilidad para reubicación.

2.6 Conclusiones parciales

FSO utiliza la luz para enviar y recibir datos a través del aire entre dos puntos con línea de vista despejada por lo que son de mucha importancia los niveles de potencia con que la luz transmitida alcanza el otro extremo y el grado de alineación entre los dos equipos de transmisión-recepción, se hace una caracterización del estado actual de las redes, donde se puede constatar el insuficiente ancho de banda existente y las demandas de algunas empresas e instituciones de la provincia.

En virtud de datos obtenidos sobre las diferentes tecnologías en mercado se escoge un terminal apropiado a las características de la ciudad, como la altura de las edificaciones y las distancias que las separa, también se relaciona el clima promedio y el mas crítico en temporada de lluvias, llegando a la conclusión que posible la instalación y puesta en explotación de un enlace con este tipo de tecnología en la ciudad de Ciego de Ávila.

La Óptica de Espacio Libre es una tecnología de comunicaciones que ofrece mayor facilidad de instalación que la fibra óptica y mayores anchos de banda y seguridad que los enlaces inalámbricos por medio de microondas o radiofrecuencia.

Los sistemas FSO pueden ser una buena opción en los casos donde se necesita comunicar dos puntos ubicados a una distancia no mayor de 4 o 5 kilómetros, con un gran ancho de banda, y donde se necesite realizar una instalación en el menor tiempo posible y donde la instalación de cables de fibra requiere demasiados tramites y trabajos.

Los factores climáticos como la niebla y el viento muy fuerte constituyen los más grandes retos para el uso de la tecnología FSO, debido a que tienen impacto en la potencia que logran recibir los equipos así como en su alineación.

3 CAPÍTULO 3: SIMULACION DE LA RED DE ACCESO

3.1 Simulación del funcionamiento de la Red Inalámbrica Óptica en el enlace.

Potencia emitida por el equipo óptico:

La herramienta propuesta de simulación, para el cálculo de la potencia emitida por el equipo óptico, utiliza los siguientes parámetros:

Fórmula 3.1

$$P_{Recibida} = P_{Transmitida} \frac{d_R^2}{(d_T + \theta R)^2} 10^{-\alpha R/10}$$

d_R : diámetro de apertura del receptor (m)

d_T : diámetro de apertura del transmisor (m)

θ : divergencia de emisión (mrad)

R: rango (km)

α : atenuación atmosférica (dB/km).

Como podemos observar en la siguiente figura 3.1 se presenta los valores establecidos en el simulador óptico, necesarios para calcular la potencia recibida:

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input checked="" type="checkbox"/>	Range	1699	m	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Attenuation	3	dB/km	Normal
<input type="checkbox"/>	Geometrical loss	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input type="checkbox"/>	Transmitter aperture diam	5	cm	Normal
<input type="checkbox"/>	Receiver aperture diamete	10	cm	Normal
<input type="checkbox"/>	Beam divergence	2	mrad	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Transmitter loss	1	dB	Normal
<input type="checkbox"/>	Receiver loss	0	dB	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Additional losses	1	dB	Normal
<input type="checkbox"/>	Propagation delay	0	ps/km	Normal

Figura 3.1 Parámetros para el cálculo de la potencia recibida. Fuente: Simulación Optiwave

Potencia del Generador de Pulsos (Gaussiano)

Los pulsos gaussianos son pulsos cuya envolvente es una función gaussiana, y cuando la frecuencia del pulso varía con el tiempo se dice que tienen chirp.

Las razones por la que se empleó esta familia de pulsos en el estudio de simulación son:

- ✓ Por conveniencia matemática, puesto que la transformada de Fourier de un pulso gaussiano da como resultado un pulso gaussiano.

CAPITULO 3

- ✓ Porque los pulsos emitidos por los láser fabricados con semiconductores, cuando se modulan directamente, adquieren un cierto chirp.
- ✓ Porque tanto la dispersión como algunos efectos no lineales pueden provocar que pulsos que inicialmente no tienen chirp lo adquieran al propagarse por la fibra.

Los parámetros que intervienen en el cálculo del poder óptico de salida para cada bit, se presenta en la siguiente fórmula:

Fórmula 3.2

$$P(t) = B(A_p \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-k}{TFWHM} \right)^{2N}} + A_{bias})$$

Dónde:

A_p = poder de emisión del pulso (mW)

B = es el valor de bit (1 o 0), depende del ingreso de la secuencia de bits

K = es el coeficiente apropiado numérico determinado para generar pulsos con valores exactos del parámetro “width” (bit)

A_{bias} = es el DC Offset 1 del pulso. Este es el parámetro “Bias”.

N = es el orden de la función Gaussiana ($N=1$).

$TFWHM$ = es el parámetro “width”.

3.1.1 Simulación de la nueva red inalámbrica óptica

A partir del diseño de la Nueva Red Inalámbrica Óptica figura 2.2, se genera el siguiente modelo lógico en el simulador óptico:

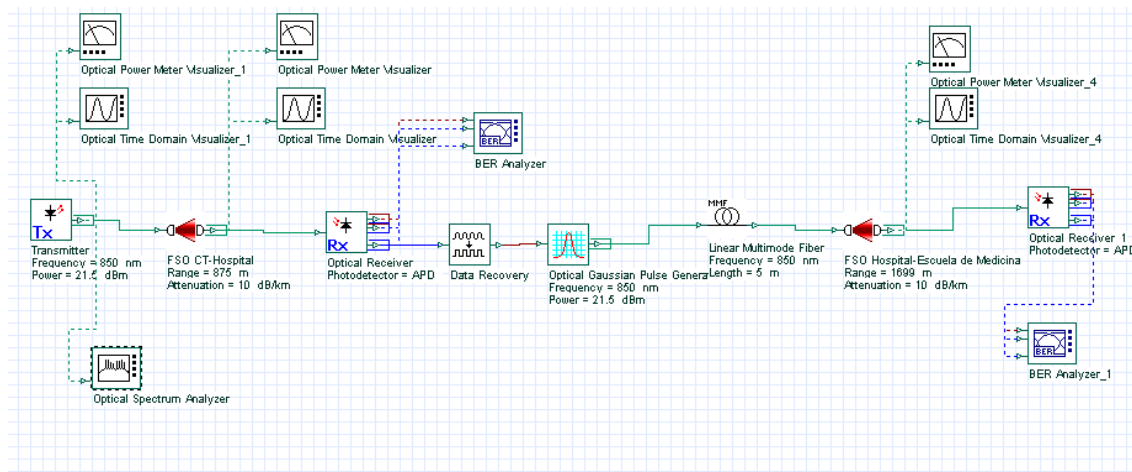


Figura 3.2 Parámetros para el cálculo de la potencia recibida. Fuente: Simulación Optiwave

Explicación

Este sistema trabaja en un régimen binario de 1,25 Gbits/s. Se puede apreciar que existen dos enlaces ópticos; en los cuales se emplea equipos ópticos transmisores y receptores, en el primer

CAPITULO 3

enlace (Centro Telefónico-Hospital) estos equipos se encuentran a 875 metros de distancia, mientras que en el segundo enlace (Hospital-Escuela de Medicina) se encuentra a 1699 metros. El transmisor óptico trabaja con una frecuencia de 850 nm y una potencia de emisión 141 mW o 21,5 dBm, esta transmisión se realiza a través del componente FSO, en el cual se establece el rango de distancia entre el emisor y el receptor, y la atenuación que varía de acuerdo al tipo de clima en el cual se va a implantar el enlace, para nuestro estudio se ha establecido el valor de 3dB/km, el mismo que refleja un clima de pocas lluvias, con niebla ligera. Como podemos apreciar la atenuación que se aplica es la más alta para niebla ligera, lo cual indica que pueda existir una considerable pérdida de potencia, por ende pérdida de información.

El receptor está basado en un foto detector APD., el mismo que genera una señal eléctrica. Todos los valores de los parámetros que se especifican tanto en el transmisor, receptor y equipo láser han sido extraídos de las características del dispositivo comercial del proveedor seleccionado.

En el esquema se pueden ver elementos para visualización de señales eléctricas, ópticas, medidores de nivel de potencia, analizador de espectros.

Simulation			
Signals			
Spatial effects			
Noise			
Signal tracing			
Name	Value	Units	Mode
Simulation window	Set bit rate		Normal
Reference bit rate	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
Bit rate	1250000000	Bits/s	Normal
Time window	1.024e-007	s	Normal
Sample rate	80000000000	Hz	Normal
Sequence length	128	Bits	Normal
Samples per bit	64		Normal
Number of samples	8192		Normal

Es el valor de la tasa de transferencia por unidad de tiempo que se va a utilizar en todos los componentes del enlace óptico

Es la secuencia de longitud de bit que se establece para el enlace óptico

Figura 3.3 Parámetros para el cálculo de la potencia recibida. Fuente: Simulación Optiwave

Hay ciertos parámetros comunes que se asigna a todo el enlace óptico en sí, como podemos observar en la figura 3.3, los parámetros son la razón de bit (*bit rate*) y la longitud de la secuencia (*sequence length*), los mismos que se aplicaran para el cálculo de resultados obtenidos por la simulación.

Elementos del escenario.

CAPITULO 3

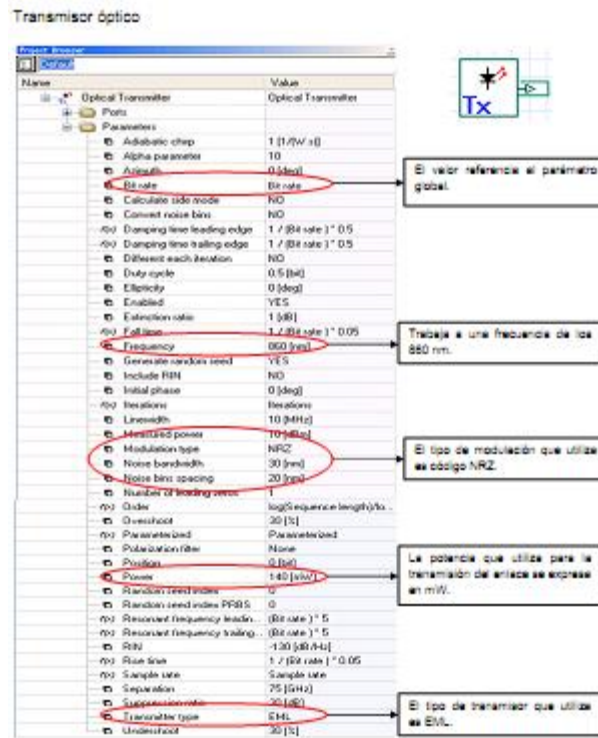


Figura 3.4 Parámetros del equipo inalámbrico óptico. Fuente: Simulación Optiwave

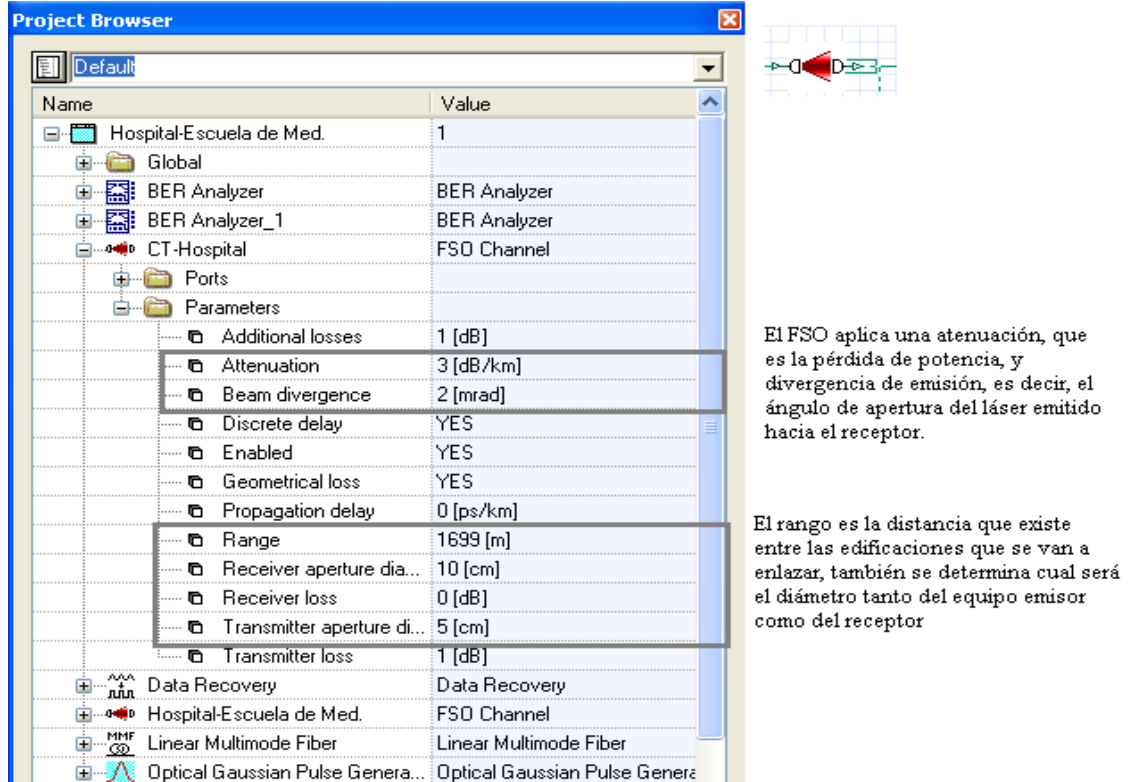
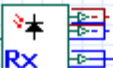


Figura 3.5 Parámetros del componente FSO. Fuente: Simulación Optiwave

CAPITULO 3

Name	Value
<input type="checkbox"/> Absolute threshold	0.5 [(a.u)]
<input type="checkbox"/> Add ASE-ASE noise	YES
<input type="checkbox"/> Add shot noise	YES
<input type="checkbox"/> Add signal-ASE noise	YES
<input type="checkbox"/> Add thermal noise	YES
<input type="checkbox"/> Approximate sensitivity	-33 [dBm]
<input type="checkbox"/> Center frequency	850 [nm]
<input type="checkbox"/> Centered at max power	YES
$f(x)$ <input type="checkbox"/> Cutoff frequency	$0.75 * \text{Bit rate}$
<input type="checkbox"/> Dark current	10 [nA]
<input type="checkbox"/> Decision instant	0.5 [Bit]
<input type="checkbox"/> Delay compensation	0 [s]
<input type="checkbox"/> Depth	100 [dB]
<input type="checkbox"/> Estimate receiver noise	YES
<input type="checkbox"/> Gain	3
<input type="checkbox"/> Generate random seed	YES
<input type="checkbox"/> Insertion loss	0 [dB]
<input type="checkbox"/> Ionization ratio	0.9
<input type="checkbox"/> Noise calculation type	Numerical
<input type="checkbox"/> Order	4
<input type="checkbox"/> Photodetector	APD
<input type="checkbox"/> Random seed index	0
$f(x)$ <input type="checkbox"/> Reference bit rate	Bit rate
<input type="checkbox"/> Reference extinction r...	10 [dB]
<input type="checkbox"/> Reference Q factor	7
<input type="checkbox"/> Responsivity	1 [A/W]
$f(x)$ <input type="checkbox"/> Sample rate	$5 * (\text{Sample rate})$
<input type="checkbox"/> Thermal noise	$1e-022$ [W/Hz]
<input type="checkbox"/> User defined decision	NO
<input type="checkbox"/> User defined delay	NO
<input type="checkbox"/> User defined threshold	NO



Es el mínimo nivel de señal para conseguir un funcionamiento aceptable.

El fotodetector se encarga de la conversión de la señal óptica en una corriente eléctrica, y se tiene que especificar la referencia de la velocidad de envío.

El ruido termal es uno de los ruidos que afectan la señal.

Figura 3.6 Parámetros del equipo receptor óptico. Fuente: Simulación Optiwave

CAPITULO 3

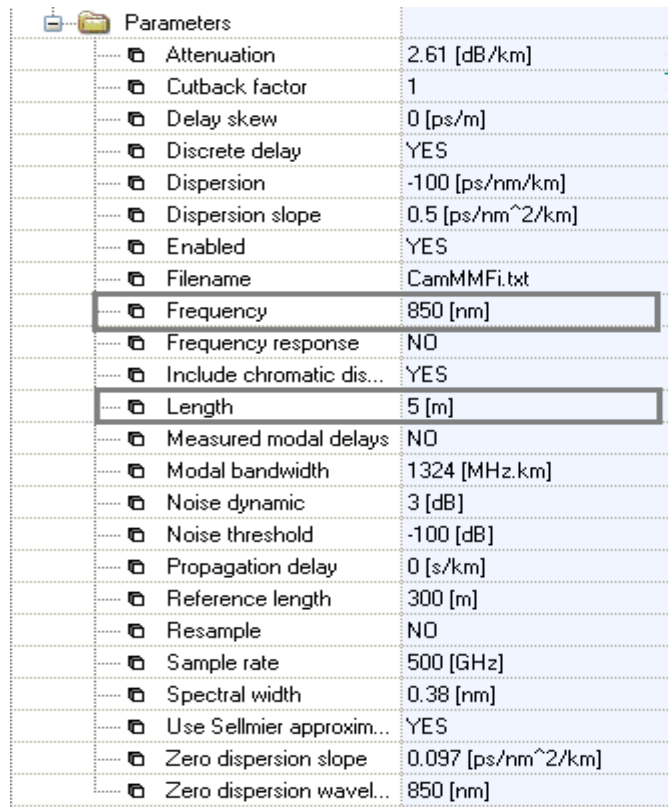
Optical Gaussian Pulse Genera...		Optical Gaussian Pulse Gen...
+ Ports		
- Parameters		
Adiabatic chirp	0 [1/s]	
Alpha parameter	0 [rad/W]	
Azimuth	0 [deg]	
Bias	-100 [dBm]	
Chirp definition	Linear	
Chirp factor	0 [rad/s]	
Ellipticity	0 [deg]	
Enabled	YES	
Frequency	850 [nm]	Este generador de pulsos necesita cierta frecuencia para la emisión de datos.
Order	1	
f(x) Parameterized	Parameterized	
Position	0 [bit]	
Power	21.5 [dBm]	Se requiere una potencia referencial para poder generar los pulsos ópticos.
f(x) Sample rate	Sample rate	
Truncated	NO	
Width	0.5 [bit]	

Figura 3.7 Parámetros del generador gaussiano de pulsos ópticos. Fuente: Simulación Optiwave

Data Recovery		Data Recovery
+ Ports		
- Parameters		
Absolute threshold	0.5 [(a.u)]	
Decision instant	0.5 [Bit]	
Delay compensation	0 [s]	
Generate random seed	YES	
Random seed index	0	
f(x) Reference bit rate	Bit rate	El valor referencia al parámetro global.
User defined decision	NO	
User defined delay	NO	
User defined threshold	NO	

Figura 3.8 Parámetros del componente de recuperación de datos. Fuente: Simulación Optiwave

CAPITULO 3



Parameter	Value
Attenuation	2.61 [dB/km]
Cutback factor	1
Delay skew	0 [ps/m]
Discrete delay	YES
Dispersion	-100 [ps/nm/km]
Dispersion slope	0.5 [ps/nm ² /km]
Enabled	YES
Filename	CamMMFi.txt
Frequency	850 [nm]
Frequency response	NO
Include chromatic dis...	YES
Length	5 [m]
Measured modal delays	NO
Modal bandwidth	1324 [MHz.km]
Noise dynamic	3 [dB]
Noise threshold	-100 [dB]
Propagation delay	0 [s/km]
Reference length	300 [m]
Resample	NO
Sample rate	500 [GHz]
Spectral width	0.38 [nm]
Use Sellmier approxim...	YES
Zero dispersion slope	0.097 [ps/nm ² /km]
Zero dispersion wavel...	850 [nm]

La frecuencia tiene que ser la misma del generador de pulsos ópticos para la transmisión.

Este parámetro depende de la distancia del switch hacia el equipo óptico.

Figura 3.9 Parámetros del componente de fibra multimodal, Fuente: Simulación Optiwave

3.1.2 Resultado de la simulación de la red inalámbrica óptica.

Componentes de visualización

Medidor óptico de potencia

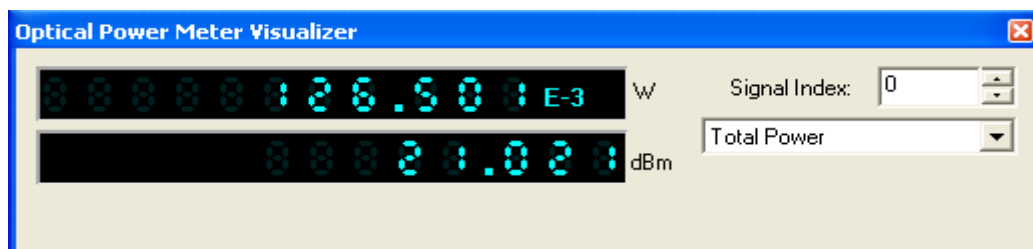


Figura 3.10 Resultado del medidor óptico en el transmisor. Fuente: Simulación Optiwave

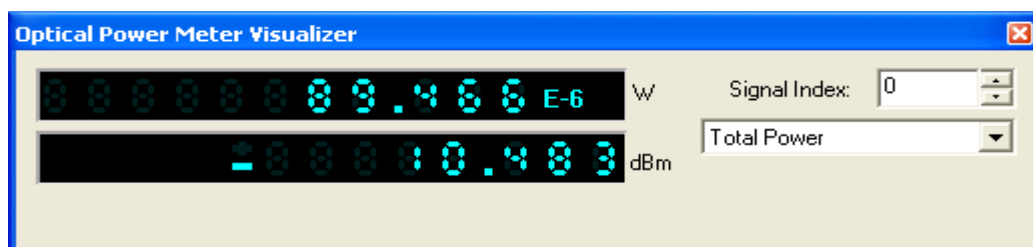


Figura 3.11 Resultado del medidor óptico en el receptor 1. Fuente: Simulación Optiwave

CAPITULO 3

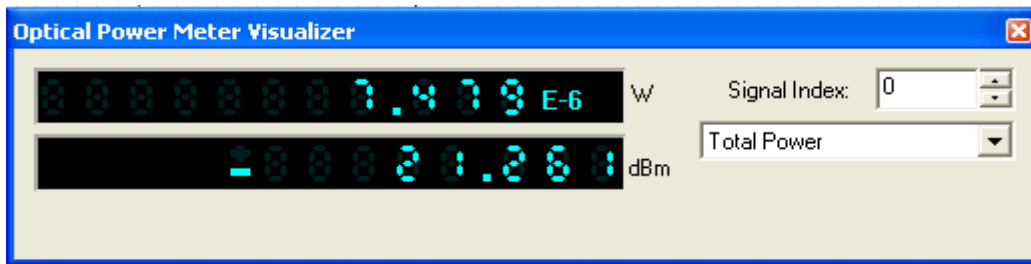


Figura 3.12 Resultado del medidor óptico en el receptor 2. Fuente: Simulación Optiwave

Como se puede apreciar en la figura 3.10 la potencia final de salida que emite el transmisor óptico es de 126,5 mW, esta potencia tiende a disminuir por factores como ruido, atenuación, frecuencia utilizada.

En el receptor del primer enlace según figura 3.11 se recibe 89,46 mW, este nivel de señal está afectado por la atenuación del enlace y los demás parámetros que de forma natural se encuentran en el trayecto del laser.

En la figura 3.12 se observa el nivel recibido en el receptor del segundo enlace, 7,47 μ W suficientes para garantizar un enlace con una tasa de error de bit superior a 1×10^{-12}

3.1.3 Analizador óptico de espectros

Muestra en una escala logarítmica la señal de poder, originada por el transmisor óptico en el dominio de frecuencia.

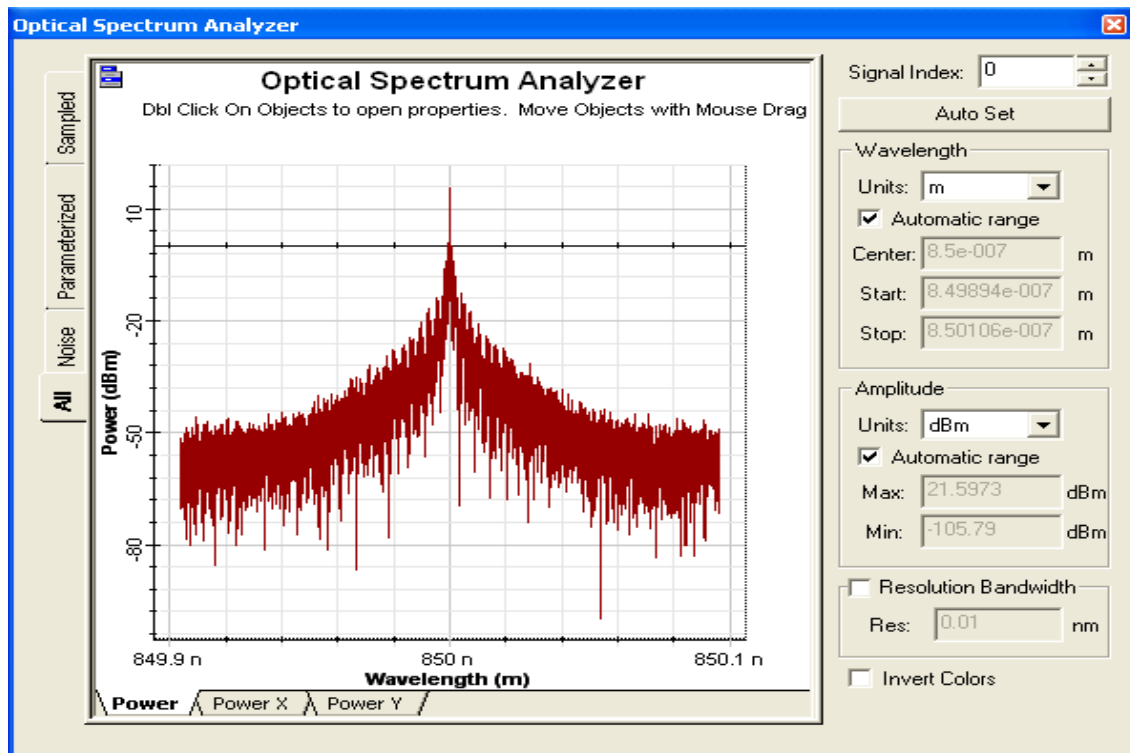


Figura 3.13 Resultado obtenidos por el analizador de espectros. Fuente: Simulación Optiwave

CAPITULO 3

Se muestra los efectos de degradación de la transmisión al incrementar el valor de la atenuación, en las siguientes figuras:

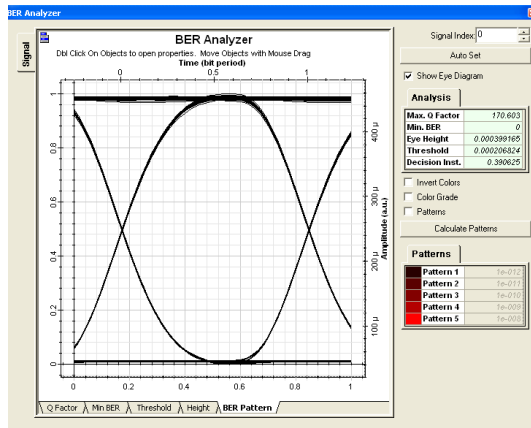


Figura 3.14 Resultados obtenidos por el BER (3 dB/km).Fuente: Simulación Optiwave

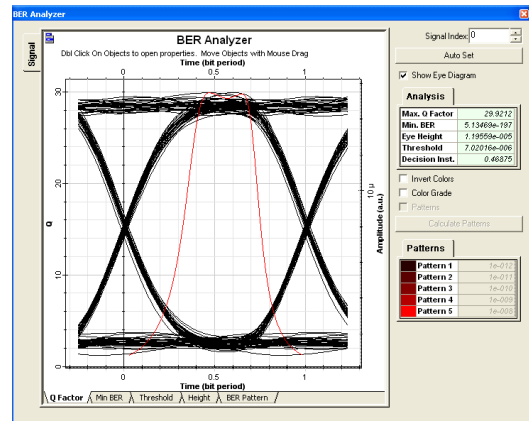


Figura 3.16 Resultados obtenidos por el BER (20 dB/km).Fuente: Simulación Optiwave

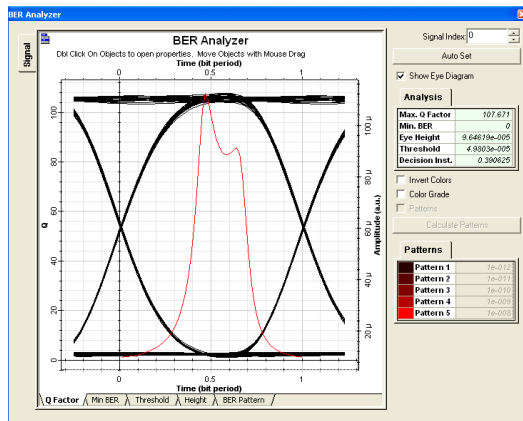


Figura 3.15 Resultados obtenidos por el BER (10 dB/km).Fuente: Simulación Optiwave

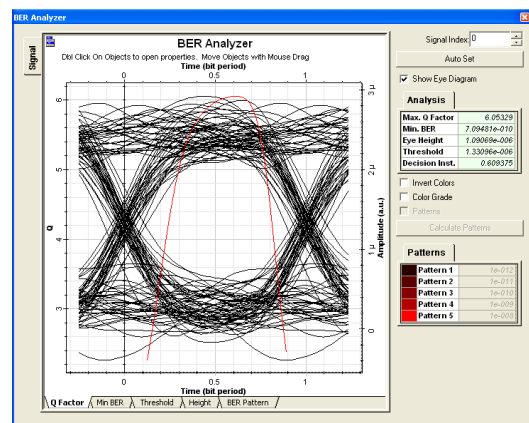


Figura 3.17 Resultados obtenidos por el BER (29 dB/km).Fuente: Simulación Optiwave.

Según los gráficos establecidos y la determinación de la relación S/N, se concluye que mientras existe un aumento en el valor de la relación, se reduce el BER, es decir, a mayor valor en decibeles en la relación S/N, mejor calidad de la señal y menor ruido.

3.1.4 Monitoreo de la señal óptica

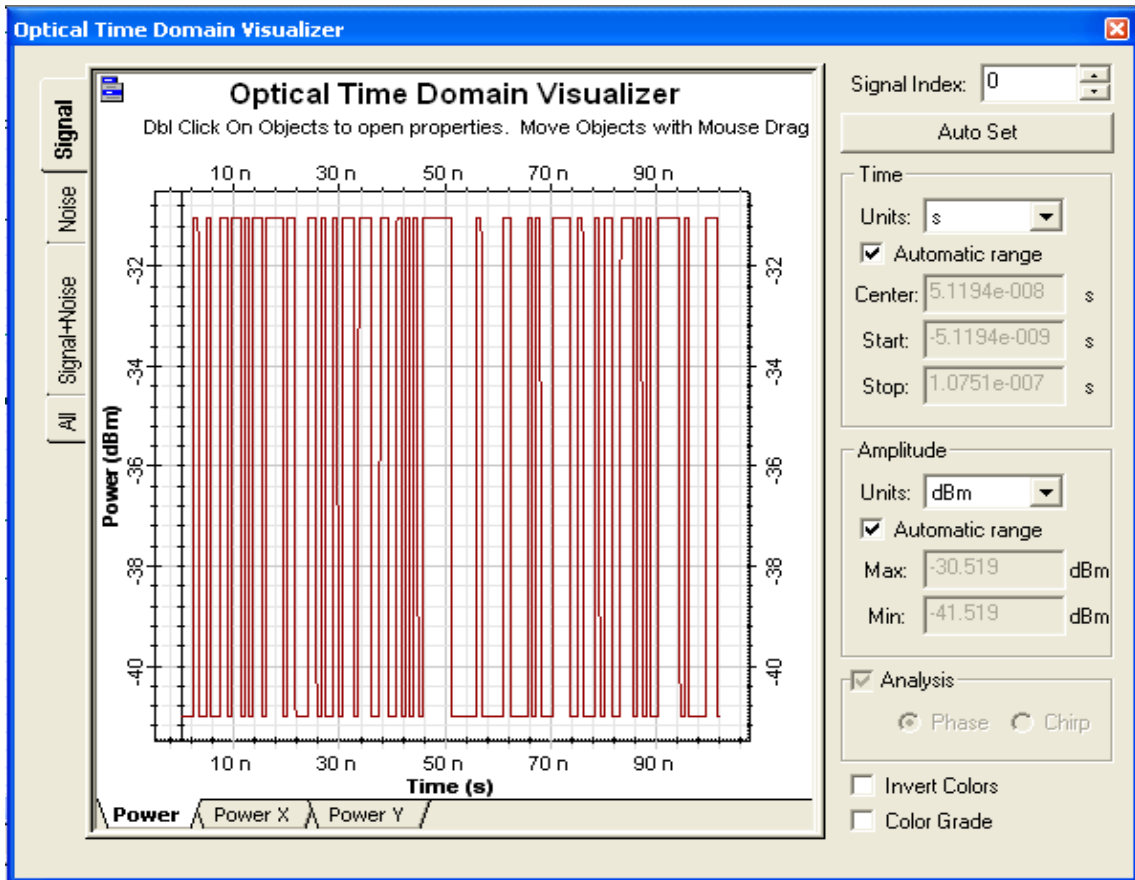


Figura 3.18 Resultado obtenido por el BER. Fuente: Simulación Optiwave

Cálculo de resultados

La potencia recibida en ambos terminales puede ser calculada a partir de parámetros internos y externos, estos parámetros son según la ecuación de enlace, en primer lugar la potencia transmitida que para el terminal TeresCope5000G está en el rango de 18,5 a 21,5 dB ó 70 mW a 141 mW, se utiliza la mayor potencia para garantizar el enlace, la apertura del receptor que para un terminal de este tipo está en el orden de los 5 cm, y como factores inversos la divergencia del haz que está en 2 mrad, la distancia entre terminales en el orden de los 876 metros, y como factor no controlable la atenuación atmosférica, que para el caso de estudio está en 3 db/km. Sustituyendo estos valores en la ecuación de enlace para un terminal como el propuesto para la simulación, que posee más de un transmisor LASER

$$Pr = P_{transm} * \frac{L * d_r^2}{\theta^2 * R^2 * 1e^6} * 10^{(-\alpha * R/10)}$$

CAPITULO 3

El valor de potencia recibida en estas condiciones es de:

$$P_r = -5,38 \text{ dB}$$

Los receptores tienen una sensibilidad de -33 db, este valor es utilizado para calcular el margen del enlace, se utiliza la siguiente fórmula

$$\text{Margen de Enlace} = 10 * \log\left(\frac{P_r}{S}\right)$$

como resultado se obtiene

$$\text{Margen de Enlace} = 27,63 \text{ dB}$$

Con este dato se puede calcular la longitud del enlace en la que puede estar operable según la fórmula siguiente:

$$\text{Longitud}(km) = \frac{\text{Margen del enlace}(db)}{\text{Atenuación por Niebla}(db/(km))}$$

$$\text{Longitud}(km) = \frac{27,63 \text{ dB}}{3 \text{ dB/km}}$$

$$\text{Longitud}(km) = 9,2 \text{ km}$$

$$\text{Longitud}(km) = \frac{27,63 \text{ dB}}{10 \text{ dB/km}}$$

$$\text{Longitud}(km) = 2,763 \text{ km}$$

Con los datos antes expuestos el enlace podría estar operable a una distancia de 9,2 km con una atenuación de 3dB/km y a una distancia de 2,763 km con atenuación de 10 dB/km, distancia superior a la máxima necesaria para el enlace.

$$\frac{A_R}{A_B} = \left(\frac{D_R}{D_T + 100 * d * \theta} \right)^2$$

Relación Señal / Ruido

Tomando los resultados obtenidos en el simulador, específicamente tomado del Visualizador “Medidor Óptico”, se pudo constatar que la potencia de la señal total recibida es de 7,47 μW , la misma que ha sido calculada por la siguiente fórmula:

Fórmula 3.3:

$$P_{total} = P_{salida} - P_{pérdida}$$

Remplazando valores tenemos:

$$P_{total} = 141 \text{ mW} - 7,47 \mu\text{W}$$

$$P_{total} = 140,9253 \text{ mW}$$

CAPITULO 3

Ahora, también se requiere el calcular el ruido, producido en el transcurso de toda la transmisión, tanto desde que la señal sale del transmisor y llega hacia el receptor.

Para esto se implementa la siguiente fórmula:

Fórmula 3.4

$$N_{total} = \Sigma(N_{shot} + N_{térmico} + N_{RIN})$$

Tomando en cuenta los valores que toman estos ruidos, y efectuando la sumatoria total del ruido producido en la transmisión, su valor aproximado es:

$$N_{total} = 2dBm \rightarrow \text{equivalente a: } N_{total} = 1,58mW$$

Ahora para efectuar el cálculo de la Relación Señal / Ruido, y sabiendo que S/N se expresa habitualmente en “dB”. Remplazamos los valores en la siguiente fórmula:

Fórmula 3.5

$$\frac{S}{N} (dB) = 10 \log. \left(\frac{S(W)}{N(W)} \right)$$

Tenemos:

$$\frac{S}{N} (dB) = 10 \log. \left(\frac{140,92e^{-3}W}{1,25e^{-3}W} \right)$$

Teniendo como resultado: 20.46 dB. Analizando este resultado se puede expresar que es una cantidad bastante aceptable, el cual garantiza una buena calidad en la señal.

Tomando en cuenta, que también se tiene una atenuación de 10 dB/km. Por lo que se refleja, que aunque teniendo una atenuación baja, y un poder del ruido considerable, se tiene una excelente señal.

Disponibilidad

Ahora analizando la disponibilidad que tendría la Nueva Red Inalámbrica Óptica. Lo que se debe tomar en cuenta es varios factores como: la fiabilidad de los equipos tanto transmisores como receptores, considerando también la interferencias, ruido, atenuación que afectan el servicio.

Para el cálculo de la disponibilidad se emplea la fórmula 3.6, la cual indica que:

Fórmula 3.6

$$\text{Disponibilidad\%} = 100. \frac{\text{Tiempo de uso efectivo}}{\text{tiempo de uso total}}$$

Como toda red bien estructurada, se debe tener la expectativa que el funcionamiento tiene que ser un 100% de disponibilidad; sin embargo por los factores mencionados anteriormente, este porcentaje se reduce.

CAPITULO 3

Conociendo todo el proceso de la Tecnología FSO, que se ha reflejado en el presente proyecto, y obteniendo los resultados posibles, aplicando la simulación, se determina que el “tiempo de uso efectivo” de la Nueva Red Inalámbrica Óptica, se refleja en 99.99%.

Fomentando este porcentaje, se establece que cualquier red es propensa a factores que pueden afectar su disponibilidad, en este caso, también se ha considerando esa probabilidad.

Ganancia

Cabe recalcar que aplicando una atenuación bastante considerable, acompañada de una señal de ruido alta, no se registra inconvenientes en la transmisión de la señal, es decir, la señal emitida tiene buena calidad en la transmisión.

3.2 Conclusiones parciales

Una vez analizado el enlace, se pudo constatar que existen varios lugares a los cuales no se llega con todos los servicios requeridos a través de la red, que de igual manera el resto de edificaciones demandan, servicio de internet, correo electrónico, en fin varios servicios de mayor ancho de banda que el brindado hoy por la empresa de comunicaciones.

Se determinó también, que el Centro Telefónico será el nodo central, donde irán ubicados los equipos transmisores/receptores ópticos láser, el mismo permite llegar con línea de vista a los edificios donde se instalaran los terminales remotos.

En cuanto a la simulación establecida, se demostró las ventajas, si se produjera la implementación física de una Red Inalámbrica óptica, para la red entre el Hospital y la Escuela de Medicina. Tomando en cuenta que esta red permitirá una mejora en el rendimiento del actual enlace; considerando, que los nodos que se han establecido para el diseño de los enlaces ópticos, permiten tener cerca del 99.99% de disponibilidad del servicio; cuyo valor es excelente.

En cuanto a la herramienta de simulación, se constituye que es de gran apoyo para el diseño de redes ópticas permitiendo la simulación de su funcionamiento. Cabe recalcar que la herramienta como tal, tiene una serie más de utilidades, incluido el modulo FSO, por lo que hace complejo el manejo de la misma.

4 CONCLUSIONES

1. Como resultado de la investigación se demuestra que como redes acceso óptico de gran ancho de banda además de las tecnologías PON, en sus diferentes estándares, y de gran utilización en la actualidad, que utilizan como medio de conducción de las señales el cable de fibra óptica, también existen otros medios como la fibra inalámbrica o FSO, que a pesar de continuar su desarrollo como tecnología emergente, tiene un grado de aceptación alto en el mundo de las telecomunicaciones.
2. Esta tecnología óptica inalámbrica tiene prestaciones similares a las ópticas por cables, y características particulares que utilizadas correctamente permite sacar la máxima utilidad de un sistema de comunicaciones con grandes posibilidades de utilización en la sociedad cubana, dentro de las más importantes están la rapidez de montaje o despliegue y puesta en explotación, de bajo costo con respecto a la tecnología óptica por cables y su mantenimiento, alta escalabilidad de la red, y la seguridad, aspectos muy necesarios a tener en cuenta en los proyectos futuros del país de redes de cables de fibra óptica.
3. Esta tecnología es apropiada para varios tipos de escenarios, se propone una topología de red en estrella, escenario adecuado para la ciudad de Ciego de Ávila por la distribución geográfica de las empresas y entidades, por las distancias al nodo principal de comunicaciones, por la concepción y diseño de la tecnología, esta garantiza estabilidad en el servicio por poseer una disponibilidad calculada de 99.99 %.
4. La simulación de la red con el programa Optiwave 7.0, fue efectiva, pues los resultados obtenidos están dentro de los parámetros de otras simulaciones y enlaces en funcionamiento en otras partes del mundo, estudiados en la literatura. Se realizó un análisis sobre las características generales de diferentes modelos de FSO disponibles en el mercado, seleccionando el modelo Terescope 5000G, que es el que mejor se ajusta a nuestras necesidades. Este método de transmisión de datos es el más idóneo para nuestro caso, pues mantiene los índices de calidad, de ruido, razón de bit errados dentro de los parámetros conocidos para un enlace similar por cables de fibra
5. Evaluando los resultados obtenidos en la investigación se realizó un análisis de la tecnología inalámbrica óptica de gran ancho de banda en el acceso existente para el envío o transmisión de datos, llegando a la conclusión que es la que mejor se adapta a los requisitos pedidos. Se analizaron las características técnicas del equipo elegido para conocer su funcionamiento, además de comparar precios de instalación con una red de fibra óptica.

CONCLUSIONES

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Carson., M.K., *Giving voice to the world*. Sterling Biographies. 2007, Nueva York 10016: Sterling Publishing. 76-78.
2. Cordova., F. *Acceso última milla*. 2007 [cited; Available from: bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/.../546/.../T10469CAP4.pdf]
3. Dueñas Flor, S.A.O.O., Diego Efraín. *Estudio comparativo de tecnologías de acceso de última milla para determinar soluciones de conectividad en el sector rural de la provincia de Imbabura*. 2010 [cited; QUITO/EPN/2010:[CD-2857]. Available from: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2048>.
4. (2007) *Breve ingeniería*. Volume,
5. *Activo vs Pasivo*. 2007 [cited 10 de diciembre de 2007]; Available from: <http://www.freespaceoptics.com>.
6. Fatin Hamimi Mustafa, A.S.M.S., NachimaniCharde, *Proceeding of the International Conference on Advanced Science, Engineering and Information Technology 2011*. 2011, Photonic Technology Center
7. Keiser, G., *FTTX Concepts and Applications*, ed. I. John Wiley & Sons. 2006, Hoboken, NJ, USA.
8. Motoyuki Nakamura, H.U., Shinya Makino, Tetsuya Yokotani, and Kazuyoshi Oshima *Proposal of Networking by PON Technologies for Full and Ethernet Services in FTTx*. *Journal of Lightwave Technology*, 2004. 22(11): p. 2631.
9. Martí, J.R., *Integración de servicios triple-play virtualizados para entornos multi-usuario de acceso con fibra hasta el hogar*. 2008.
10. Gaseni, E.C., *FTTH(fibra hasta el hogar):transformación de la red de acceso*. *Revista GREIP Edificació i Patrimoni.*, 2010.
11. Manrubia, M.B.G. *Planificación de redes ópticas wavelength-routing con demanda dinámica de tráfico*. 2008 [cited 2011 febrero]; Available from: <http://hdl.handle.net/10317/275>.
12. A., F.J.C., *Evaluación de nuevas tecnologías de última milla para acceso dedicado a internet: adsl (asymmetric digital subscriber line) y hfc (hybrid fiber coax)*. . *Telématique: Revista Electrónica de Estudios Telemáticos*, , 2002. Vol. 1, Nº. 1, 2002: p. págs. 10-20.
13. L, H., *Communications Magazine*. 2008, IEEE.
14. Ivan Ramirez Ayala, D.R.A., Fransisco Zúñiga Arteaga, Mauricio Núñez Toro. *Estudio de Nuevas Tecnologías (WIMAX, FSO, HAPS y UWB)* 2004 [cited 2011 23-3-2010]; Available from: www.subtel.cl/prontus.../site/.../7_estudio_nuevas_tecnologias.pdf -.
15. Bell, A.G., *On the production and reproduction of sound by light*. *American journal of science*, 1880. XX: p. 305-324.
16. Bloom, S. (2002) *Física de la óptica en espacio libre*. Volume, 22
17. G. Hansel, E.K., *Simulation in the Design Process of Free Space Optical Transmission Systems*. paper, 2001: p. 45-53.
18. Arun K. Majumdar, J.C.R., *Free Space Laser Communications*. 2007: Springer Science+Busines Media LLC, 233 Spring Street, New York, NY 10013, USA.
19. Estudio, G.d. (2010) *Fixed service applications using free-space optical links*. Volume,
20. Z. Bielecki, W.K., and J. Mikolajczyk1 (2008) *Free-space Optical Data Link Using Quantum Cascade Laser*. Volume,
21. Tom Garlington, J.B., George Long, *Analysis of Free Space Optics as a Transmission Technology* 2005.
22. Heinz Willebrand, B.S.G., *Free Space Optics: Enabling Optical Connectivity in Today's Networks*. 2002: Sams Publishing.
23. Pavel Polynkin, A.P., Laura Klein, Troy Rhoadarmer, and Jerome Moloney *Optimized multiemitter beams for free-space optical communications through turbulent atmosphere*. 2007. 32(8): p. 885-887.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

24. D., P.A.R., *Fundamentos para la aplicación de sistemas ópticos inalámbricos (FSO) como solución de telecomunicaciones en áreas metropolitanas*. Telématique, 2004. 3: p. 112-115.
25. Ramírez Espinosa, D.E. *Diseño y comparación de una red utilizando tecnologías Laser Free Space y fibra óptica, para la comunicación entre el edificio de oficinas y el edificio de bodegas de QUIFATEX*. 2010 [cited 2010 16-abr-2010]; Available from: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1987>
26. Mecherle., D.A.R.y.G.S., *Comunicaciones inalámbricas ópticas*, in *Acceso óptico de bajo costo y banda ancha*. 2007, Corporación fsona.
27. Jensen, I.T.M.N.G.G.J.B., *Convergencia de sistemas de comunicación ópticos e inalámbricos*. Óptica pura y aplicada, 2009: p. 83-90.
28. WP3M, I.-R., *Scintillation effects in far and near infrared wavelengths in FSO links*, ITU-R, Editor. 2008.
29. Zabidi, S.A.K., W.A.; Islam,M.R.;Naji,A.W. *The effect of weather on free space optics communication (FSO) under tropical weather conditions and a proposed setup for measurement*. 2010 [cited 12 Mayo 2010]; 1-5]. Available from: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=5556757.
30. Ivan B. Djordjevic, B.V., and Mark A. Neifeld, *Multilevel Coding in Free-Space Optical MIMO Transmission With Q-Ary PPM Over the Atmospheric Turbulence Channel*. IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, 2006. 18.
31. Mármol., M.J.G.M.N.D.V.F., *Hacia la distribución cuántica de claves en espacio libre a alta velocidad*, in *Quantum Optics and Nonlinear Optics*. 2011: Valladolid.
32. C., H.G., *Influencia pluviométrica en los enlaces FSO láser con modulación en potencia*, in *Telématique*. 2006, Universidad Rafael Bellosos Chacin Universidad Autónoma del Estado de México.
33. Jonathan Hugo León Apolo , R.C.V.R. and *Estudio de factibilidad y simulación de una red inalámbrica óptica basada en la tecnología FSO ,para mejorar el rendimiento del backbone actual de la ESPE campus Sangolqui 2008* [cited 2011 25-2-2010]; Tesis de Grado]. Available from: <repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/1085>.
34. Lee;M.L.Sim, I.E., *Performance enhancement of outdoor visible-light communication system using selective combining receiver*. Optoelectronics,IET, 2009. 3: p. 30-39.
35. Cuenca Pauta, C.A. and J.C. Palacio Pacheco, *Diseño y factibilidad de una red inalámbrica óptica utilizando tecnología FSO para la comunicación entre los edificios de la Escuela Politécnica Nacional y el Observatorio Astronómico*. 2009.
36. Langer, J.G.S.R.K.D., *Broadband Information Broadcasting using LED based interior lighting*. Lightwave Technology, 2008. 26: p. 3883-3892.
37. S. Mohammad Navidpour, M., Murat Uysal, and Mohsen Kavehrad., *BER Performance of Free-Space Optical Transmission with Spatial Diversity*. IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, 2007. 6.
38. Tanveer Ahmed Bhuiyan, S.H.C., Asif Al - Rasheed, and S.P. Majumder *Performance Analysis of a Free-Space Optical Code Division Multiple Access through Atmospheric Turbulence Channel 2009*: p. 4.
39. Arieli, R., *La Aventura LASER*. 2007.
40. Dutta, M.Y.J.A.S.K.P., *Free-space-optical mobile ad hoc networks: Auto-configurable building blocks*. Springer Science + Business Media, 2007.
41. Kamugisha KAZAURA, K.O., Toshiji SUZUKI,Mitsuji MATSUMOTO, Edward MUTAFUNGWA, Tadaaki MURAKAMI,Koichi TAKAHASHI,HidekiMATSUMOTO, Kazuhiko WAKAMORI, and Yoshinori ARIMOTO, *Performance Evaluation of Next Generation Free-Space Optical Communication System*, in *Special Section on Evolution of Microwave and Millimeter-Wave Photonics Technology*. 2007. p. 381.
42. Jing Xue, A.G., Berkehan Ciftcioglu, ShangWang, Jianyun Hu, Ioannis Savidis, y Manish Jain, Michael Huang, Hui Wu, Eby G. Friedman, y Gary W. Wicks, y Duncan Moore, *An Intra-Chip Free-Space Optical Interconnect*. 2008.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

43. G.Daniel. *Resúmenes*. 2008 [cited 2010 28-11-2010]; Available from: www.tlm.unavarra.es/docencia/rba/rba06-07/trabajos/resumenes/gr15.
44. Erika Johanna Caizaluisa Caizaluisa, *Diseño de una red con tecnología láser free space optics (FSO), para el campus de la Escuela Politécnica Nacional y su comparación con la red de fibra óptica*, in *Telemática*. 2008: Quito.
45. Carr., D.F., *Óptica del Espacio libre*. Baseline, 2005. Centro de Gestión de Proyectos.
46. ITU-R, *Fixed service applications using free-space optical links*, R.I.-R. F.2106-1(11/2010), Editor. 2010.
47. G.640, I.-T., *Co-location longitudinally compatible interfaces for free space optical systems* T.S.S.O. ITU, Editor. 2006.
48. Dr. Scott Shepard, S.J.B., *OPTICAL FIBER VERSUS FREE-SPACE LOSSES AT INFRARED: . AN ET UNGERGRADUATE RESEARCH PROJECT*, 2008.
49. otros., S.B.y., *Entendiendo el desempeño de la óptica del espacio libre*. Revista de las conexiones de red ópticas 2003. 6: p. 178-199.
50. Chan, V.W.S., *Free-Space Optical Communications*. Journal of Lightwave Technology, 2007. 24(12): p. 4750-4762.
51. *wireless*. 2009 [cited 2011 3/8/2011]; Available from: www.euskalnet/apetxebari/topologias.htm.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

6 GLOSARIO DE TÉRMINOS

2B1Q: Modulación 2 Binario 1 Cuaternario

APD: Diodo Receptor de Avalancha

APON: (*ATM Passive Optical Network*). Red óptica pasiva ATM

ATM: (*Asynchronous Transfer Mode*). Modo de transferencia asíncrono

BER: (*Bit Error Rate*). Razón de bit errado

BPON: (*Broadband PON*). Red Óptica Pasiva de Banda Ancha

CWDM: (*coarse wavelength division multiplex*). multiplexado por división aproximada de longitud de onda

CO: (Central Office). Oficina Central.

DBA: (*Dynamic Bandwidth Allocation*). asignación dinámica del ancho de banda

DWDM: () división densa de longitud de onda

DFB: (Distributed Feedback Laser). Láser de retroalimentación distribuido

EFM: (*Ethernet in the First Mile*) Ethernet en la primera milla.

EP2P: () Ethernet Punto-a-Punto

E1:Flujo de 2048 Kbps

EDFA: (*Erbium Doped Fiber Amplifier*). Amplificador de fibra dopada con erbio

EPON: (Ethernet based passive optical network). Red óptica pasiva Ethernet

FDMA: (*Frecuency Division Multiple Access*). Acceso múltiple por división de frecuencia

FSO:(Free Space Optical). Óptica del Espacio Libre

FTTA: (*Fiber -to-the- apartment*). Fibra hasta el apartamento

GLOSARIO DE TÉRMINOS

FTTB: (*Fiber –to-the- building*). Fibra hasta el edificio

FTTC: (*Fiber –to-the- curb*). Fibra hasta la acera o la esquina

FTTH: (*Fiber –to-the- home*). Fibra hasta la casa

FTTN: (*Fiber –to-the- neighborhood*). Fibra hasta el vecindario

FTTP: (*Fiber –to-the- premises*). Fibra hasta la premisa del cliente

FO: () Fibra óptica.

FP: () Fabry Perot.

FSAN: (*Full Service Access Network*) red de acceso total al servicio.

FTTU: (*Fiber –to-the- user*) Fibra hasta el usuario.

FTTx: (*Fiber –to-the- x*) Fibra hasta x.)

GPON: (*Gigabit capable passive optical network*). Red óptica pasiva del Gigabit

HFC: (*Hybrid Fiber Coaxial*). Redes híbridas de fibra óptica y cable coaxial

IDSL: (*ISDN Digital Subscriber Line*). Línea digital de abonado ISDN

IEEE: (*Institute of Electrical and Electronic Engineering*). Instituto de Ingenieros eléctricos y Electrónicos

IP: (*Internet protocol*). Protocolo de internet

IPTV: (*Internet protocol TV*). TV por Protocolo de internet

ITU: (*International Telecommunication Union*). Unión Internacional de Telecomunicaciones

LAN: (*Local Area Network*). Red de area local

NGA: (*Next Generation Access*). Acceso de próxima generación

NMS: (*Network management system*) Sistema de gestión de red.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

NRZ: (*non-return-to-zero*). No retorno a cero

ODF: (*Optical Distribution Frame*). Distribuidor óptico

OLT: (*Optical line terminal/Termination*) Terminal o terminación de línea óptica

ONT: (*Optical Network Terminal*). Terminal de red óptica

ONU: (*Optical Network Unit*). Unidad de red óptica

p2p: (*Point-to-point*). Punto a punto

P2MP: (*Point-to-multipoint*). Punto a multipunto

PON: (*Passive optical network*). Red óptica pasiva

PIN: (*Positive Intrinsic Negative*). Unión de diodo intrínseco positivo negativo

QoS (*Quality of Service*). Calidad de servicio

RDSI: Red Digital de Servicios Integrados

SDH: (*Synchronous Digital Hierarchy*). Jerarquía digital sincrónica

SOA: () amplificadores ópticos semiconductores

TDM: (*Time Division Multiplex*). Múltiplex por división de tiempo

TIC: Tecnologías de la Información y la Comunicación

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones

VCSEL: (*Vertical Cavity Surface Emitting Laser*) Laser de emisión de cavidad vertical

WDM: (*Wavelength Division Multiplexing*). Multiplexación por división en longitud de onda

ANEXOS

7 ANEXOS

7.1 Anexo A. Cuadro comparativo de tecnologías fSONA

Tabla A.1 Comparativa de productos SONAbeam™(Fuente: fSONA Communications)

SONAbeam™	Rate (Mbps)	Rango Máximo Recomendado	Protocolos
SONAbeam™8-E	1.5-10.25	4,950m	NxT1/E1,data rate transparente o reclocked
SONAbeam™52-E	1.5-68	3,850m	NxT1/E1,E3,DS3, OC-3/ STM-1,Ethernet, data rate transparente o reclocked
SONAbeam™52-M	1.5-62	7,700m	NxT1/E1,E3,DS3,OC-1/ STM-0,data rate transparente
SONAbeam™155-E	1.5-160	2,600m	NxT1/E1,E3,DS3, OC-3/ STM-1,10/100 Ethernet, data rate transparente y reclocked
SONAbeam™155-S	31 -180	3,850m	OC-3, STM-1,Fast Ethernet, data rate transparente y reclocked
SONAbeam™155-M	31 -180	5,700m	OC-3, STM-1,Fast Ethernet, Data rate transparente y reclocked
SONAbeam™622-S	100-715	3,400m	OC-3, STM-1,Fast Ethernet, OC-12,STM-4,270Mbps, data rate transparente y reclocked
SONAbeam™622-M	100-715	5,500m	OC-3, STM-1,Fast Ethernet, OC-12,STM-4,data rate transparente y reclocked
SONAbeam™1250-S	100-1448	3,200m	OC-3, STM-1,Fast Ethernet, OC-12,STM-4,Gigabit Ethernet,270 Mbps, 1064 Mbps, data rate transparente y reclocked
SONAbeam™1250-M	100-1448	5,300m	OC-3, STM-1,Fast Ethernet, OC-12,STM-4,Gigabit Ethernet, 270 Mbps, 1064Mbps, data rate transparente y reclocked
SONAbeam™2500-M	2,448	5,000m	OC-3, STM-1,Fast Ethernet,OC-12,STM-4, Gigabit Ethernet, OC-48,STM-16

ANEXOS

7.2 Anexo B. Cuadro comparativo de tecnologías Mercury

Tabla B.1. Soluciones de Mercury Networks para FSO (Fuente: Mercury Networks)

SeriesTerescope	Tasa de Datos	Alcance en Rx	Protocolo
TereScope Mux	4xE1o 4xT1	Hasta 2 km	E1o T1
TereScope1 (PAL)	1-100 Mbps (Pasivo)	Hasta 380 m	FastEthernet, Ethernet, E1 o T1
TereScope 2	1.5 M bps o 2.048 Mbps	Hasta 4.1 km	E1 o T1
TereScope 10	10 Mbps	Hasta 3.2 km	Ethernet
TereScope 34	1-34 Mbps	Hasta 2.6 km	Protocolo Independiente
TereScope 155 Protocolo Select	34-155 Mbps	Hasta 2.2 km	E3,T3,FastEthernet, FDDI,ATM,STM-1
TereScope 5000 (TS- 155/G)	1-155 Mbps	Hasta 5.5 km	T1,E1,E3,T3,Fast Ethernet,FDDI,ATM, STM- 1
TereScope 155 Protocolo Independiente	10-155 Mbps	Hasta 3.75 km	Protocolo Independiente
TereScope 622	622 Mbps	Hasta 1.5 km	ATM(OC-12)
TereScope 1000P (PAL)	1.25 Gbps (Pasivo)	Hasta 300 m	GigabitEthernet
TereScope 1000	1.25 Gbps	Hasta 1.5 km	GigabitEthernet
TereScope 1000Z	1.25 Gbps	Hasta 1.7 km	GigabitEthernet
TereScope Fusión	11 Mbps	Todos los alcances Terescope	Ethernet

7.3 Anexo C. Cuadro comparativo de tecnologías

Tabla C.1 Tipos de Transmisor, Receptor y Modulaciones utilizadas (Fuente: Mercury Networks)

	Fábrica1	Fábrica2	Fábrica3	Fábrica4	Fábrica5	Fábrica6
Transmisor	AlGaAs	AlGaAs	EDFA	InGaAs	AlGaAs	AlGaAs
Modulación	NRZ OOK	NRZ OOK	NRZ OOK	NRZ OOK	NRZ OOK	NRZ OOK
Receptor	SiAPD	SiAPD	PIN	PIN	SiAPD	SiAPD

ANEXOS

7.4 Anexo D. Cuadro comparativo de tecnologías

Tabla D.1 Especificaciones técnicas de diferentes tipos de fabricaciones (**Fuente:** <http://www.airfiber.com/tech/wireless.htm>)

	Fábrica1	Fábrica2	Fábrica3	Fábrica4	Fábrica5	Fábrica6	
Long. de Onda	785	850	1550	1550	850	910	nm
Tasa de Datos	1250	1250	1250	155	1250	622	Mbps
Pot. Prom. Láser	18	30	1000	320	16	25	mw
Pot. Peak Láser	36	60	2000	640	31	50	mw
Apertura Tx	8	5	40	5	5	15	cm
Divergencia Tx	0.5	2.0	2.0	4.3	2.0	11.0	mrاد(1/c ²)
Apertura Rx	8	20	40	20	19	17	cm
Opt. background	0	0	0	0	0	0	w/m ²
Campo en Rx	3	3	3	3	3	3	mrاد(1/c ²)
Filtro de Rx	25	25	25	25	25	25	cm
Sensibilidad Rx	1000	1000	1000	1000	1000	1000	nw
BER	1 * 10 ⁻¹²	1 * 10 ⁻¹²	1 * 10 ⁻¹²	1 * 10 ⁻¹²	1 * 10 ⁻¹²	1 * 10 ⁻¹⁰	

ANEXOS

7.5 Anexo E. Cuadro comparativo de tecnologías

Tabla E.1 Comparación de Tecnologías (Fuente: <http://www.airfiber.com/tech/wireless.htm>)

Característica	FSO	Microondas	Radio inalámbrico	Fibra Óptica	ADSL
Alcance	Hasta 6 Km	Hasta 50 Km	100 metros en Interior y 30 Km en exterior	100 Km	5,4 Km
Ancho de Banda máximo	2.5 Gbps	155 a 300 Mbps	WiFi:11 a 54 Mbps	Ilimitado	8,1 Mbps
Compatibilidad IP	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Compatibilidad SNMP	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Protección a la Inversión	Sí	Sí	No	No	Sí
Seguridad de datos	Alta	Alta	Baja	Alta	Alta
Despliegue	Rápido (1día)	Moderado (varios días)	Rápido (horas)	Varios meses	Rápido (horas)
Instalación	Fácil	Compleja	Moderada	Moderada a compleja	Fácil
Licencia	No en USA, Japón y China	Sí	Sí	No	No
Interferencia	No	Diferente	Sí	No	No
Línea de vista	Sí	Sí	No, interior Sí, exterior	No	No
Operación transparente	Sí	No	No	Sí	Sí
Precio	Bajo	Moderado	Bajo	Alto	Bajo

ANEXOS

7.6 Anexo F. Cuadro comparativo de efectos atmosféricos

Tabla F.1 Efectos atmosféricos (Fuente: <http://www.airfiber.com/tech/wireless.htm>)

	Fábrica1	Fábrica2	Fábrica3	Fábrica4	Fábrica5	Fábrica6	
Atenuación: Neblina moderada	-100	-100	-100	-100	-100	-100	dB/km
Pot.Tx peak Láser	-14	-12	3	-2	-15	-13	dBw
Tasa Degradación Extinción	0	0	0	0	0	0	dB
Degradación Tx Óptica	0	0	-15	0	0	0	dBw
Pérdidas Apuntamiento	-1	-1	-1	-1	-1	-1	dB
Pérdidas Alcance Geométrico	-7	-10	-6	-18	-10	-22	dB
Pérdidas Atmosféricas	-34	-33	-38	-36	-30	-20	dB
Desvanecimiento Destello Atmosf.	-1	-1	-1	-1	-1	-1	dB
Atenuación Rx Óptica	-1	-1	-1	-1	-1	-1	dB
Pérdida Filtro Pasa Banda	-1	-1	-1	-1	-1	-1	dB
Pérdidas Adicionales	0	0	0	0	0	0	dB

Tabla F.2 Alcance debido a las Características Atmosféricas (Fuente: <http://www.airfiber.com/tech/wireless.htm>)

Potencia Recibida en Detector	-60	-60	-60	-60	-60	-60	dBw
Potencia Requerida en Detector	-60	-60	-60	-60	-60	-60	dBw
Margen del Enlace	0	0	0	0	0	0	dB
Alcance	341	331	381	361	305	203	metros

ANEXOS

7.7 Anexo G. Datasheet Alcatel 9400 FSO

Tabla G.1 Características Técnicas de soluciones FSO de Alcatel orientadas a la tecnología de transmisión PDH (Fuente: Alcatel)

TRANSMISOR		Alcatel 9400 FSO
Rango de transmisión	Mb/s	Sobre 45
Longitud de onda	nm	850
Potencia óptica total	dBm	11
Numero de transmisores	laser	2
divergencia	mrad	2
Modulación en transmisor		4PSK
RECEPTOR		
Detector		APD
Umbral del receptor	dBm	-54
Apertura de recepción	cm	10
Campo de vista recibido	mrad	5
Rango dinámico	dB	65
FEC-Viterbi_Reed Solomon		½ (255/239)
SISTEMA		
Potencia	W	
IDU+ODU con calentadores		80
IDU+ODU		40
PESO	Kg	
IDU		<12
ODU		<3
DIMENSIONES	cm	
ODU con Split		26x40x17
IDU con rack de montaje		44,9x21x4,9

ANEXOS

7.8 Anexo H. Datasheet Alcatel 9600 FSO

Tabla H.1 Características Técnicas de soluciones FSO de Alcatel orientadas a la tecnología de transmisión SDH (Fuente Alcatel)

Alcatel 9600 FSO		SH	MH	LH
Rango de transmisión (sobre 1.25Gbs)		STM1-STM4 FE-GE	STM1-STM4 FE-GE	STM1-STM4 FE-GE
Potencia óptica total	dBm	22	25	26
Numero de transmisores		2	4	4
Apertura	cm	10	20	21,7
Umbral del receptor	dBm	-41/-34/-30	-41/-34/-30	-41/-34/-30
divergencia	mrاد	2	1,5	0,375
Perdidas pasivas	dB	5	5	5
Longitud de onda	nm	1550	1550	1550
Potencia	W			
IDU+ODU con calentadores		200	200	200
IDU+ODU		75	90	110
PESO	Kg			
IDU		5	5	5
ODU		10	20	19
DIMENSIONES	cm			
ODU con Split		43x40x31	41x41x43	55x31x36
IDU con rack de montaje		44,5x25,8x4,8	44,5x25,8x4,8	44,5x25,8x4,8

ANEXOS

7.9 Anexo I. Datasheet Terescope 5000G

Tabla I.1 Características del equipo Terescope 5000G

	Especificaciones	Sistema 3 Transmisores	
Rendimiento	Tasa de transferencia	100 Mbps – 1.5 Gbps	
	Rango (metros)	3000	
	Tasa de error bit	$< 1 e^{-12}$	
	Atenuación	3 dB/km	3500 m
		5 dB/km	2750 m
		10 dB/km	1750 m
		17 dB/km	1300 m
	30 dB/km	870 m	
Transmisor	Numero de transmisores	3	
	Fuente de luz	Diodo Laser	
	Clase de laser	1 M	
	Longitud de onda (nm)	830 - 860	
	Potencia (dBm)	18,5 – 21,5	
	Divergencia de laser (mrad)	2	
Receptor	Tipo de detector	APD	
	Sensibilidad (dBm)	- 33	
Interface de cliente	Presentación	Fibra Óptica	
	Conectores	Dual SC	
	Sistemas	Gigabit Ethernet	
	longitud de onda	850nm	
	Potencia (dBm)	-4 a 9,5	
Fuente de poder	Voltaje de salida	100 – 240 VAC, 35 - 60 VDC	
	Poder de consume (Watts)	30	
Diseño mecánico	Peso (kg)	18	
	Dimensiones del equipo W x L x H	790 x 390 x 556	
Protocolos	E3 / T3, Fast y Gigabit Ethernet, FDDI, OC – 3, ATM y STM – 1, Fiber Channel.		