

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



ESTUDIO DE IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES GUBERNAMENTAL

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRONICO

PRESENTADO POR:

SANTOS MIGUEL CRUZ MONZON

PROMOCIÓN

1992 - 2

LIMA – PERÚ

2012

**ESTUDIO DE IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA
DE COMUNICACIONES GUBERNAMENTAL**

DEDICATORIA:

A Dios, a la Universidad Nacional de Ingeniería. la UNI, mi alma mater, a mis padres, esposa, hijos y hermanos, quienes con su invalorable y noble apoyo moral y material, han hecho realidad mis sueños de graduación y titulación en la matriz de los ingenieros

SUMARIO

El presente informe de Suficiencia trata del estudio de implementación de un Sistema de Comunicaciones Gubernamental; es decir, de un Sistema Privado que cursará tráfico de comunicaciones únicamente para un sector del Estado, es el caso específico del Ministerio del Interior-Policía Nacional.

La idea principal, consiste en utilizar la red de Fibra Óptica instalada en la Costa y proyectar su instalación a la Sierra y Selva, cuya inversión estará a cargo de las concesionarias de Telecomunicaciones a fin de evitar grandes inversiones por parte del Estado Peruano.

La Fibra Óptica será el medio de transporte y para los radioenlaces se plantea el uso del sistema inalámbrico LMDS (Enlaces Locales Multipunto de Distribución de Señales simultáneas para Servicios múltiples).

Estos servicios tienen gran demanda por su aplicación y son los siguientes:

- Internet de alta velocidad (10 Gbps)
- V o D (Video por Demanda)
- RDSI
- Telefonía
- Frame Relay
- Videoconferencia
- Entre otras aplicaciones

Las interfaces de la fibra óptica y los equipos de radio, son las antenas tipo celular que se instalarán en línea de vista para máxima cobertura.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DE LA INGENIERIA DEL PROBLEMA	1
1.1 Introducción	1
1.2 Formulación del problema	1
1.3 Descripción del problema	3
1.3.1 Aspectos a considerar	3
1.4 Objetivos del estudio	6
1.5 Justificación	7
1.5.1 Conveniencia del informe	7
1.5.2 Aportes	7
1.6 Limitaciones del trabajo	7
1.6.1 Limitaciones geográficas	8
1.6.2 Limitaciones en equipamiento	8
1.6.3 Limitaciones operativas	8
1.6.4 Limitaciones financieras	8
1.6.5 Limitaciones de tiempo	9
1.7 Síntesis del trabajo.....	9
CAPITULO II	
MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....	10
2.1 Introducción	10
2.2 Sistemas de transmisión por fibra óptica	11
2.2.1 Sistema básico de transmisión.....	11
2.2.2 Ventajas y desventajas de un sistema de transmisión por fibra óptica	12
2.2.3 Principales aplicaciones	14
2.3 Cómo funciona la fibra óptica.....	14
2.3.1 Estructura física de la fibra óptica	15
2.3.2 Propagación de luz en la fibra óptica	16
2.3.3 Tipos de fibra óptica	17

2.4	Características de transmisión	18
2.4.1.	Ventanas de transmisión	19
2.4.2.	Dispersión temporal	20
2.4.3.	Ecuaciones principales	21
2.4.4.	Especificaciones típicas	22
2.4.5.	Dispositivos de fibra óptica	22
2.4.6.	Emisores ópticos	23
2.4.7.	Receptores ópticos	24
2.4.8.	Amplificadores ópticos	25
2.5	Instalación de la fibra óptica	25
2.5.1	Tendido	25
2.5.2	Empalmes	26
2.5.3	Conexionado	27
2.6	Pruebas típicas de la fibra óptica	27
2.6.1	Atenuación	27
2.6.2	Retro esparcimiento	28
2.7	La multiplexación óptica	29
2.7.1	WDM	29
2.7.2	CWDM	30
2.7.3	DWDM	30
2.8	Dispersión de modo de polarización (PMD)	32
2.9	Sistemas de Tecnología Inalámbrica	35
2.9.1	Sistemas Inalámbricos LMDS	36
2.9.2	Estructura del sistema LMDS	37
2.9.3	Arquitectura del sistema MLDS	37
2.9.4	Mecanismos de acceso.....	38
2.9.5	Sistema inalámbrico MMDS	38
2.9.6	Sistema inalámbrico Wi-Fi (Wireless Fidelity).....	39
2.9.7	Norma Estándar 802.11 Original	39
2.10	Sistemas de Antenas	40
2.10.1	Tipos de Sistemas de Antenas	41
2.10.2	Requerimientos de diseño	41
2.10.3	Patrón de radiación	42
CAPITULO III		
METODOLOGIA PARA LA SOLUCION DEL PROBLEMA		43
3.1.	Introducción	43

3.2.	Proceso de Implementación del Sistema de Comunicaciones Gubernamental .	43
3.3.	Objetivos del Informe	44
3.4.	Características de los enlaces de microondas.....	44
3.4.1.	Tipo de Fibra óptica a instalarse	45
3.4.2.	Número de conexiones de Banda Ancha por Departamento.....	47
3.4.3.	Orientación de las antenas en las ciudades para lograr máxima cobertura	48
3.4.4.	Elementos de una estación de comunicaciones inalámbrico	48
3.4.5.	Esquema de la Red Privada de Comunicaciones Lima y Callao.....	48
3.5	Configuración de la Red Privada de Comunicaciones	48
3.5.1	Cobertura.....	48
3.5.2	Estaciones o Lugares de Repetición.....	48
3.6	Despliegue del Sistema de Comunicaciones.....	49
3.7	Elección de equipos a utilizarse.....	50
3.8	Características de solución	58
3.8.1	Cálculo de los enlaces.....	58
3.8.2	Disponibilidad del Espectro y Banda de Frecuencias.....	59
3.8.3	Capacitación en telecomunicaciones.....	60
CAPÍTULO IV		
ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS		61
4.1.	Introducción	61
4.2.	Justificación	61
4.2.1.	Conveniencia del informe.....	62
4.2.2.	Aportes.....	62
4.2.3.	Síntesis del trabajo.....	62
4.2.4.	Costo.....	62
4.2.5.	Velocidad	62
4.2.6.	Capacidad.....	63
4.2.7.	Desventajas	63
4.2.8.	Aplicaciones.....	63
4.3.	Comparación con otras tecnologías	63
4.4.	Ventajas	63
4.5.	Calidad de servicio QoS.....	64
4.6.	Balance Oferta Demanda	64
4.7.	Costos en la situación “Sin Proyecto”	64
4.8.	Beneficiario en la situación “Con Proyecto”	65
4.8.1.	Beneficios Incrementales	65

4.8.2.	Evaluación social	65
4.8.3.	Análisis de Sensibilidad	65
4.8.4.	Sostenibilidad	65
4.8.5.	Recursos Humanos	65
4.8.6.	Recursos Físicos.....	65
4.8.7.	Asesoramiento técnico	66
4.8.8.	Impacto Ambiental.....	66
4.8.9.	Selección de Alternativas	66
4.8.10.	Clasificación de los equipos terminales	66
CAPITULO V		
PROPUESTA ECONOMICA.....		67
CONCLUSIONES RECOMENDACIONES		69
ANEXO A		
DIAGRAMA DE ADMINISTRACION DE LA RED DE COMUNICACIONES		71
ANEXO B		
GLOSARIO DE TERMINOS.....		73
ANEXO C		
RECOMENDACIONES ITU-T.....		75
BIBLIOGRAFIA		78

INTRODUCCION

El presente informe trata el “Estudio de Implementación de un **“Sistema de Comunicaciones Gubernamental”**”. La idea es proponer un Sistema de Comunicaciones que sea utilizado exclusivamente por todos los organismos del Estado Peruano con el objeto de dar servicios integrados de: Voz, Datos e Imágenes, a todas las áreas del Estado, tales como Ministerios, Gobiernos Regionales y Locales e Instituciones descentralizadas; sin embargo, esta propuesta es un modelo, ya que se necesita de un presupuesto alto para la implementación de tal sistema.

En este documento, estudiamos la implementación de un sistema integrado e innovador para un sector del Gobierno, como es la seguridad Interna del país; es decir, un sistema que sea utilizado por un Organismo creado para tal fin, pero se dejará establecida una estructura dorsal, donde se irán integrando los demás órganos del Estado.

Este estudio se refiere a la aplicación de tecnologías actualizadas en el establecimiento de los diferentes circuitos de comunicaciones, como son la fibra óptica, tecnologías inalámbricas, sistemas de antenas para equipos celulares entre otros.

También utilizaremos la Red nacional de fibra óptica como medio de transporte tanto la existente en la Costa, como la propuesta en Sierra y Selva.

En la actualidad no existe un sistema integrado de comunicaciones que afronte esta limitación en el Estado, las comunicaciones existentes, utilizan las redes y plataformas de los operadores privados. Por la estructura compleja y débil interrelación en la organización del Estado, se propone también la conceptualización, instalación, gestión y mantenimiento por un organismo especializado tal como la Superintendencia Nacional de Comunicaciones Integradas, SNCI¹, que dependerá directamente del Consejo de Ministros PCM, tal como se puede apreciar en el Anexo A.

Así mismo el Ministerio del Interior, tendrá una asesoría Legal y una asesoría Técnica a cargo de un Abogado y un Ingeniero, respectivamente.

Las Estaciones Base contarán con sistemas de Antenas instaladas adecuadamente.

¹ SNCI Superintendencia Nacional de Comunicaciones Integradas,

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INGENIERIA DEL PROBLEMA

1.1 Introducción

El presente informe, trata el tema de ausencia en el sector estatal de un **Sistema de Comunicaciones Dedicado**, para el tráfico de sus informaciones. Lo que se desea es contar con un sistema de transporte de voz, imágenes y datos en forma segura, eficiente y económica. Actualmente todo el tráfico del sector estatal, se realiza sobre plataformas de operadoras del sector privado que para situaciones de emergencia no ofrecen garantía debido a que sus sistemas son del tipo comercial.

Un **Sistema de Comunicaciones Dedicado**, para el sector estatal, debe enlazar a todos los Ministerios, Gobiernos Regionales y Locales, así como a Oficinas y Dependencias del Estado en un solo “**gran circuito integrado**” con el fin de tener una comunicación fluida y coordinada para casos de emergencia y de orden informativo, tal sistema no existe.

Se tomará como referencia al Ministerio del Interior y se dejará la puerta abierta para otras Instituciones a fin de que se vayan integrando en un solo sistema; es decir, estableceremos un sistema Dorsal para el futuro.

Los sistemas a emplearse serán de alta velocidad (10 Gbps) con el fin de aprovechar el gran ancho de banda que ofrece la fibra óptica, para los enlaces utilizaremos sistemas inalámbricos.

1.2. Formulación del problema

El Ministerio del Interior, en la actualidad no cuenta con un **Sistema de Comunicaciones Dedicado**, para atender las necesidades propias de su función, tal como cursar tráfico de voz, datos y video entre sus dependencias, pero dispone de sistemas de telefonía fija y móvil de las operadoras privadas, así como sistema de radiocomunicaciones HF, VHF y UHF en estado inoperativo por la antigüedad de los equipos y por falta de mantenimiento. También cuenta con sistemas de comunicaciones celulares, pero que son de propiedad del personal, quienes abonan mensualmente una tarifa fija por estar en red RPC (Radio de Comunicaciones Permanente).

Se pretende contar con un sistema propio de tecnología actualizada como por ejemplo el transporte de información utilizando Fibra Óptica y para los enlaces locales se deberá utilizar tecnología inalámbrica.

Las redes a instalarse comprenderán además un sistema de antenas que brinden cobertura a los lugares más aislados, para lo cual dichas antenas serán instaladas formando celdas, micro celdas y pico celdas.

1.3. Descripción del problema

1.3.1. Aspectos a considerar

En la formulación del problema se consideran los siguientes aspectos:

a. Cable de fibra óptica:

La red de fibra óptica nacional de Telefónica entró en operación en el año 1995. Se trata de un cable de fibra de 24 fibras monomodo sin dispersión desplazada, operando en la tercera ventana de 1550 nm. El fabricante es la compañía Alcatel, quien también provee equipos de transmisión. El cable tiene la especificación PKP para ser usado en conductos y PESP para ser usado directamente enterrado.

Los carretes de cable en su mayoría fueron de 5 km de longitud.

b. Instalación del cable de fibra óptica:

La instalación del cable de fibra óptica en las rutas Lima-Trujillo, Lima-Arequipa, Trujillo-Tumbes, Arequipa-Tacna y Arequipa-Tumbes, demandó 2 años. La ruta tiene derivaciones intermedias o "entronques" que enlazan a las ciudades que no se encuentran en el camino de la ruta principal. La figura 1.1 muestra la red nacional de fibra óptica. Cada 50 a 100 km se encuentran los repetidores o regeneradores de fibra óptica que mantienen los niveles de potencia a lo largo de la vía.

El proceso de instalación a lo largo y ancho del país demandó el esfuerzo de muchas personas y grandes recursos de material, equipamiento y financieros. El mayor esfuerzo estuvo en la construcción de la canalización y zanja, ya que se ha tenido que luchar contra la naturaleza agreste y rocosa. Luego se ha realizado el tendido del cable de fibra óptica en conductos o directamente enterrado.

Los primeros sistemas de transmisión soportados por fibra óptica fueron los denominados de jerarquía digital plesiócrona (PDH), operando en velocidades de 40, 140 y 565 Mbps. El incremento de velocidades en estos sistemas se realizó en muy breve tiempo, sobre todo en la ruta principal.

Con la demanda de nuevos servicios de telecomunicaciones se instalaron sistemas de transmisión con jerarquía digital síncrona (SDH o SONET), operando a velocidades de 2.5 Gbps. A la par del incremento de velocidades se ampliaron nuevos sistemas de transmisión utilizando otros portadores ópticos dentro del mismo cable de 24 fibras. La

ocupación de nuevas fibras genera la saturación del estado de ocupación del cable, por lo que se adopta el uso del DWDM.

c. Mantenimiento del cable de fibra óptica:

Los sistemas de comunicaciones, referente al tema en estudio comprende la utilización de la fibra óptica ya instalada de propiedad de Telefónica en su gran mayoría, la misma que deberá seguir utilizándose por la facilidad que el caso amerita, y además se plantea el despliegue de una nueva instalación en la Sierra y Selva ya sea por parte del Estado o por el sector privado, luego debemos instalar los sistemas de radio digital para los enlaces Punto a Punto o Punto Multipunto, tales como los sistemas inalámbricos LMDS y por supuesto todas las antenas que sean posibles utilizar con el fin de contar con una comunicación lo más nítida posible.

La red nacional de fibra óptica se encuentra en la vía pública o al filo de las carreteras ya sea en zonas urbanas o rurales. El hecho de estar en el ámbito exterior al equipo de transmisión o de conmutación, denominado también planta exterior, lleva consigo a que el cable esté expuesto a una serie de riesgos de corte, rotura, robo o hurto.

Las entidades del gobierno central, gobierno regional, municipalidades, empresas de otros servicios públicos y personal naturales o jurídicas, continuamente están realizando ya sea obras de ampliación o mantenimiento de carreteras, remodelación de calles, pistas y veredas, ampliación de redes de agua o alcantarillado, etc. Aun cuando se establecen los niveles de coordinación para controlar las interferencias, los cables de fibra óptica son cortados o rotos.

Mención especial merece el caso de los robos o hurtos de cable de fibra óptica, cuyo acto generalmente se realiza cuando se le confunde con cables multipares de cobre, ya que este último es atractivo en el mercado informal de chatarra de cobre debido al incremento del precio internacional del cobre. Al cable de fibra óptica robado no se le conoce aún un beneficio que incentive dicha actividad delictiva.

Finalmente tenemos los riesgos debido a los desastres naturales. Las precipitaciones pluviales intensas, como las ocurridas durante el fenómeno El Niño en los años 1997-1998, generan grandes deslizamientos de tierra y agua que arrasan todo lo que encuentran a su paso, rompiendo el cable de fibra óptica. En el caso del terremoto de Pisco del año 2007, la onda sísmica hizo que la superficie terrestre se deformara abruptamente, rompiendo el cable de fibra.

Se debe tener especial atención en medir la continuidad de la Fibra Óptica, ya que ello nos asegura la transmisión y recepción de las señales, para medir dicha continuidad, se utiliza el equipo FTB 5700.

Las mediciones se deben realizar a lo largo de todo el recorrido de la fibra.



Figura 1.1 Red Nacional de fibra óptica existente – fuente MTC

En la coyuntura actual los sistemas de transmisión por fibra óptica operan a una velocidad de 10 Gbps. Debido a la explosión de la demanda de servicios móviles y de acceso a Internet, se requiere que la fibra óptica nacional dé un gran salto a la velocidad de 40 Gbps y usando la tecnología DWDM. Para ello se desea saber si la fibra está preparada para soportar establemente los 10 Gbps y si podrá migrar a mayores velocidades. Por los conocimientos y conceptos establecidos en el marco teórico, se sabe que la dispersión temporal es la característica principal relacionada con la velocidad de transmisión. Sin embargo dentro de ellas la Dispersión de Modo de Polarización (PMD) es la que tendrá gran impacto en la decisión de migrar a mayores velocidades.

Por otro lado los sistemas de comunicaciones DWDM que están compuestos por el equipo de transmisión, la fibra óptica y los módulos de supervisión del enlace, deben establecer enlaces a 10 Gbps. Para ello dentro del sistema se establecen enlaces con regeneradores.

En cada enlace de regeneración se tiene un Retardo Diferencial de Grupo (DGD), que no debe exceder las especificaciones del equipo de transmisión del fabricante, el cual es de 18 ps. Si bien es cierto que la ITU-T G.666 especifica una dispersión de modo de polarización (PMD), el cual es el promedio del DGD, de 10 ps para 10 Gbps; el fabricante del equipo excede esta especificación debido a sus sistemas de modulación propios del equipo DWDM suministrado.

Por lo que el problema de ingeniería se plantea de la siguiente manera: El sector Gobierno presenta limitaciones de comunicación al no contar con una red de comunicaciones privada o dedicada de uso exclusivo para el transporte del tráfico utilizado por dicho sector.

Esta identificación del problema nos lleva a formular las siguientes preguntas de investigación:

- a. ¿El proceso de implementación del sistema de comunicaciones beneficiará al sector y justificará la inversión de 600 Millones de Dólares?
- b. ¿Qué características deberá tener el sistema a implementar, a fin de tener una comunicación fluida y eficiente?

1.4. Objetivos del Estudio

El presente informe de suficiencia tiene los siguientes objetivos:

- a. Plantear alternativas para que el sistema a implementar pueda soportar altas velocidades (10 Gbps) y tenga conexión inalámbrica.
- b. Cumplir las normas para la instalación de los equipos, su operación y mantenimiento preventivo y correctivo.

- c. Establecer un cronograma de supervisión a fin de que se cumplan los planes de mantenimiento y reemplazos de partes a fin de tener un sistema operativo en todo momento.
- d. Contar con personal capacitado para la operación y mantenimiento.
- e. Contar con la infraestructura de ambientes adecuados
- f. Contar con instalaciones de energía y sistemas de puesta a tierra

1.5. Justificación

1.5.1. Conveniencia del informe

El presente informe de suficiencia, se realiza porque al identificar el problema que tiene el sector Ministerio del Interior de no contar con un Sistema de Comunicaciones adecuado para satisfacer sus necesidades de tráfico, a fin de ofrecer toda su capacidad al servicio de la comunidad.

Asimismo el presente informe se realiza para formular alternativas de solución, utilizando la tecnología actualizada disponible y de calidad.

1.5.2. Aportes

Al desarrollar este Estudio, el autor del presente informe intenta aportar al Ministerio del Interior un estudio técnico y científico para implementar un **Sistema de Comunicaciones Gubernamental**; es decir, Privado, a fin de solucionar los problemas de tráfico de información en forma eficiente, segura y económica, para lo cual se deberá contar con una infraestructura de características adecuadas para tal fin. Asimismo aportar las mejores prácticas de:

- Operación y mantenimiento,
- Identificación y solución de problemas relacionados al tráfico de información.
- Contribuir al conocimiento práctico, en la necesidad de hacer un seguimiento a la infraestructura, para asegurar el ciclo de vida del sistema.
- Finalmente contribuir en la difusión del conocimiento.

1.6. Limitaciones del trabajo

Para desarrollar este trabajo, deben realizarse mediciones a la infraestructura de fibra óptica, inspeccionar los lugares donde se instalarán los sistemas de antenas y los ambientes para la instalación de los equipos inalámbricos de radioenlace, luego de ello analizar los datos obtenidos, para identificar los problemas y seguidamente formular una solución e implementarla. La complejidad de este proceso se complementa con ciertos factores que intervienen en su viabilidad, como son acceso a la energía eléctrica, acceso a las vías de comunicación, seguridad a las instalaciones, mediciones de los parámetros de las señales, como son: Potencia recibida, Distorsión de la señal, Atenuación, Dispersión cromática, Longitud de onda de corte.

1.6.1. Limitaciones geográficas

Con el fin de asegurarnos el buen funcionamiento de la Fibra Óptica, debemos realizar mediciones de Atenuación, Dispersión y Continuidad en toda su extensión de 3,800 km. Debido a la gran longitud de la infraestructura debe acotarse a tramos.

1.6.2. Limitaciones en equipamiento

Por otro lado para medir los parámetros del sistema, deben utilizarse instrumentos de medición que sean de última generación, que sean portátiles, que tengan gran autonomía para ser utilizados sin alimentación AC. Es decir los equipos deben tener capacidad para interconectarse con otros equipos de medida a través de interfaces apropiadas y sobre todo a un ordenador (PC). Asimismo el equipo de medición debe transportarse en vehículos para llegar a los locales donde funcionarán los sistemas y tener la facilidad para realizar las conexiones en espacios limitados, por lo que importa el peso y el tamaño del equipo. Debido a que en muchos casos deben utilizarse en el terreno, en medio de la ruta, el equipo debe tener baterías con suficiente carga.

1.6.3. Limitaciones operativas

Al medir la PMD de los cables de fibra óptica, debe hacerse las pruebas en todas las fibras libres, para evitar cortes del servicio y por ende perjudicar a los clientes.

1.6.4. Limitaciones financieras

Al ser los equipos de medición de la PMD de última generación, el costo de los mismos es muy elevado, el cual requiere de una sustentación especial en las gestiones de aprobación de compra y adquisición.

Por otro lado el trabajo nocturno y el desplazamiento por toda la ruta de la fibra óptica nacional implica gastos adicionales en mano de obra, uso de combustible, viáticos y otros gastos de viaje; que también requieren una sustentación especial al controlador de gastos de operación.

1.6.5. Limitaciones de tiempo

Las restricciones geográficas, de equipamiento y operativas pueden dar lugar a que un programa de medición de parámetros dure algún tiempo. A ello hay que agregarle el tiempo de identificación de problemas, formular las alternativas de solución e implementarlas.

1.6.6 Síntesis del trabajo

El presente informe de suficiencia elabora alternativas para corregir las desviaciones de la DGD de los enlaces de regeneración. Asimismo para corregir las desviaciones de la PMD de las rutas de cable en la red nacional de fibra óptica, de tal forma que le permita al medio de transmisión ofrecer una mayor capacidad para soportar altas velocidades de transmisión.

Se establece como práctica rutinaria del mantenimiento, el monitoreo de la PMD en los diferentes tramos y rutas del fibra óptica nacional.

1.6.7 Regeneradores ópticos para incrementar los canales DWDM

Los enlaces tienen DGDs diferentes, depende generalmente de la geografía del terreno, este valor de retardo diferencial de grupo, difiere por ejemplo de un lugar de la Sierra a un lugar de la Costa y / o la Selva. Si hubiera algún deterioro posterior del cable óptico, estos valores podrían exceder los límites que tienen los transpondedores de los equipos suministrados por el fabricante. En consecuencia conviene insertar un regenerador en cada uno de estos enlaces.

El fabricante especifica que si el DGD del enlace está por debajo de los 18 ps, se garantizan las velocidades de 10 Gbps para cada uno de los canales DWDM. Con lo cual es posible soportar la demanda de tráfico y velocidad de los usuarios del operador de telecomunicaciones.

Asimismo el fabricante está ofreciendo equipos con modulación óptica en los cuales con un DGD de enlace de 18 ps, puede alcanzarse velocidades de hasta 40 Gbps.

CAPITULO II

MARCO TEORICO CONCEPTUAL

2.1 Introducción

La transmisión por fibra óptica ha revolucionado el sector de las telecomunicaciones. Desde la década de los 70s se tenía una gran preocupación en el sentido de que era muy difícil transmitir a grandes distancias con un gran ancho de banda (altas velocidades, por ejm. 10 Gbps). Las redes locales de ese entonces estaban constituidas por cables de hilos de cobre o por cables coaxiales, mientras que las redes de transporte eran a través de radio enlaces terrestres o satelitales.

Mientras tanto las empresas y usuarios en general demandaban mayor capacidad de procesamiento en sus sistemas informáticos y por supuesto la capacidad de compartir información en tiempo real. Esta situación ha presionado la necesidad de incrementar la velocidad y la capacidad de transmisión de la infraestructura de telecomunicaciones que soportan los servicios de voz, datos y video.

Es así que el desarrollo de un medio de transmisión totalmente diferente, a través de hilos de fibra de vidrio, se constituye en el foco principal y de esta manera el sector de las telecomunicaciones de un gran paso adelante.

La fibra óptica aprovecha las características de propagación de la luz, para convertirse en una portadora de señales de telecomunicaciones con una gran capacidad de información. Sin embargo también trae consigo tener en cuenta sus características de propagación como la atenuación y dispersión, que condicionan la transmisión.

Por otro lado viene consigo una tecnología para las fuentes y receptores de luz. En tal sentido se desarrollan distintos emisores como son los diodos láser y los diodos emisores de luz (LED), así mismo los receptores como son el fotodiodo tipo avalancha APD o el receptor PIN-FET.

Lo anterior va de la mano con el desarrollo de los sistemas de transmisión digital, de tal modo que las redes SONET, PDH, SDH, ATM, etc. se convierten en los modelos dominantes en la industria.

En la mayoría de los países, la superficie terrestre en todas direcciones de sus respectivos territorios nacionales; ha dado paso a una súper carretera de la información, donde la fibra óptica se convierte en la columna vertebral de las comunicaciones interconectando ciudades, regiones, países y continentes. Por otro lado en las propias ciudades la fibra óptica se convierte en el medio preferido para distribuir datos y video, llegando hasta el domicilio de los usuarios en un caso o acortando la longitud del "bucle"² de los usuarios en otros casos.

Sin embargo este medio de transmisión, al estar en la vía pública en grandes extensiones requiere de sumo cuidado para evitar interrupciones. Por lo que se desarrollan tecnologías y procedimientos especiales para su instalación y mantenimiento.

De igual manera los sistemas de enlace inalámbricos tienen mayor demanda en la actualidad con el fin de complementar las instalaciones físicas en las ciudades lo que perjudica el medio ambiente, sin embargo es necesario para máxima cobertura.

2.2 Sistemas de transmisión por fibra óptica

Los sistemas de transmisión por fibra óptica cursan información a través de una portadora luminosa que opera a muy altas frecuencias. Si tomamos como referencia las ondas de radio que trabajan en la banda de 1Ghz, similares a las que transportan las redes coaxiales de video últimamente, las ondas de luz lo hacen a una frecuencia de 200 mil veces. Es decir las fibras ópticas cursan frecuencias del orden 2×10^{14} Hz y que corresponde al espectro visible con una longitud de onda de 1500 nm.

Cuando un rayo de luz se propaga por un medio como el aire o el vidrio, éste viaja en línea recta. Sin embargo, cuando un rayo viaja de un medio a otro, éste se dobla en la frontera de ambos medios, a este doblaje se le denomina **refracción**. El ángulo con el cual se refracta se le denomina **ángulo de refracción**.

2.2.1 Sistema básico de transmisión

Los sistemas de transmisión por fibra óptica son similares a los sistemas convencionales de telecomunicaciones. En la figura 2.1 se muestra el esquema básico unidireccional de transmisión, donde se puede apreciar como:

- a. La señal eléctrica de entrada es convertida en una señal óptica a través de un convertidor electro óptico (E/O), denominado también transmisor óptico.
- b. La señal óptica viaja a través del medio de transmisión (cable de fibra óptica). En su trayecto debe empalmarse con otros tramos o secciones de cable y luego conectarse a las terminaciones.
- c. En el lado receptor la señal óptica es transformada en una señal eléctrica a través de un conversor óptico eléctrico (O/E).

² "Bucle", Lazo cerrado entre la central y el usuario

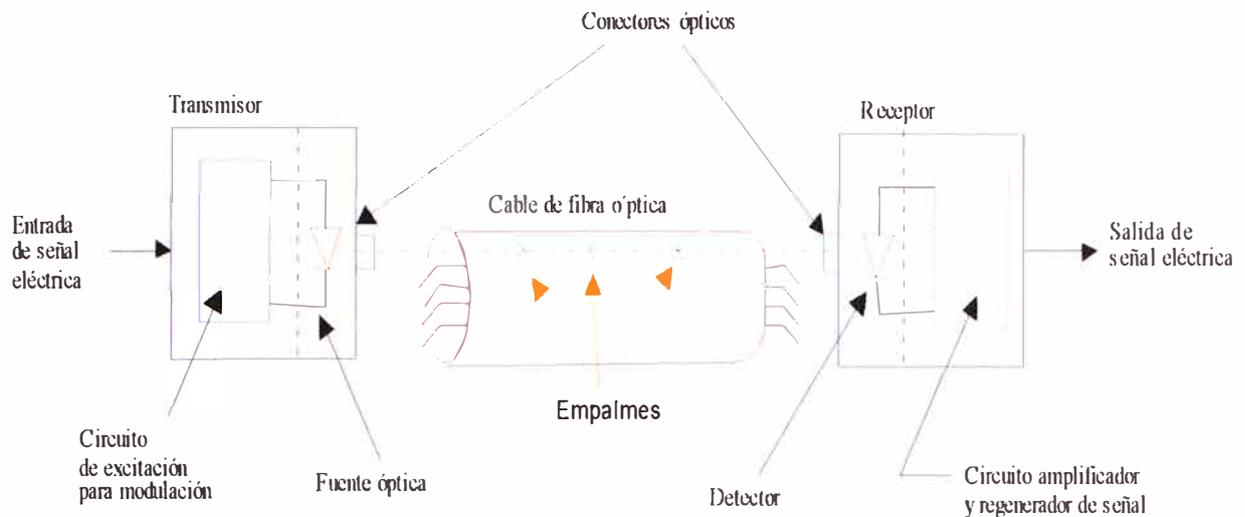


Figura 2.1 Esquema básico de un sistema de fibra óptica

2.2.2 Ventajas y desventajas de un sistema de transmisión por fibra óptica

Los sistemas de transmisión por fibra óptica presentan atributos que los hacen atractivos para su implementación, respecto de los sistemas convencionales. De igual manera hay otros que hay que tenerlos en consideración, ya que generan un riesgo a tomar en cuenta.

a. Ventajas

- **Mayor capacidad de información:** Esta particularidad la hace atractiva para transmitir múltiples señales de voz, datos y vídeo con un gran ancho de banda o una muy alta tasa de bits (bit rate). En la actualidad los enlaces están en el orden de los 10 a 40 Gbps.
- **Menor atenuación:** Dado que trabaja a muy altas frecuencias o su equivalente a longitudes de onda muy pequeñas. En las ventanas establecidas es posible pasar señales con bajas atenuaciones por kilómetro de cable. En el caso de la tercera ventana de 1550 nm, la atenuación es de 0.25 dB/Km.
- **Inmunidad a la interferencia:** Las señales de luz no sufren alteraciones debido a las interferencias electromagnéticas de radiofrecuencia o al ruido.
- **Excelente aislamiento eléctrico:** Dado que la fibra está fabricada de un material dieléctrico como es el vidrio, este no genera conducción eléctrica en caso de contacto con una red de energía eléctrica.
- **Mayor seguridad para la información:** Al tratarse de señales luminosas es muy difícil interceptar o interferir las comunicaciones y violar el secreto de las telecomunicaciones y los datos de los usuarios.

- **Menores costos de instalación, operación y mantenimiento:** Al crecer la demanda por este tipo de infraestructura, los precios de la propia fibra óptica y equipos de transmisión están bajando significativamente. De igual manera al ser una infraestructura más versátil, la operación y el mantenimiento se hace más sencilla y no genera gastos mayores respecto de los sistemas de transmisión convencionales.
- **Mayor calidad del servicio:** Al tener menor atenuación, mayor ancho de banda y ser inmune al ruido, la transmisión cumple con los requisitos de calidad establecidos.
- **Mayor confiabilidad:** Al no presentarse fluctuaciones en el medio de transmisión, similares a lo que ocurre en las ondas de radio, la transmisión es estable. Por otro lado al extenderse los tramos de repetición, la disminución de equipos hace que disminuya la probabilidad de fallas.
- **Mayor maniobrabilidad:** El peso y el espesor del cable de fibra óptica facilitan su instalación, operación y mantenimiento. Un cable de 24 fibras con una longitud de 1 km pesa 155 kg, en comparación con un cable de cobre de 100 pares de la misma longitud e igual diámetro pesa 420 kg.
- **Abundante materia prima:** Al ser extraída de la superficie terrestre, la sílice se puede adquirir fácilmente y no hay motivo de escasez.
- **Mayor flexibilidad:** Los equipos de transmisión pueden migrarse por otros de mayor velocidad, sin que ello signifique necesariamente un cambio del medio de transmisión.
- **Uso de infraestructura disponible:** Puede utilizarse la red de canalización y postes existentes para las redes de cobre, coaxiales y también las redes eléctricas como medio de soporte al cable de fibra óptica.

b. Desventajas

- **Rigidez de componentes:** Los elementos de los sistemas de transmisión cambian significativamente cuando se decide pasar de una longitud de onda a otra (ventana).
- **Poca familiarización:** Aún esta tecnología no ha entrado en la etapa de madurez en sus aplicaciones, existe poco personal con el conocimiento suficiente en esta tecnología.
- **Riesgo a manipulación inadecuada:** La fragilidad de los conductores o hilos de fibra hace que de manera accidental pueda curvarse demasiado y pueda romperse, interrumpiendo abruptamente la comunicación. Esto puede ocasionar grandes pérdidas a los operadores de telecomunicaciones o empresas usuarias si no tienen un circuito de respaldo.
- **Riesgo a esfuerzos mecánicos:** El cable de fibra soportado en los postes o canalizaciones pueden estar sujetos a tensiones o torsiones mecánicas que luego son transmitidas a los propios hilos de vidrio, con lo cual pueden producirse micro curvaturas

al interior de la fibra o posiblemente una deformación geométrica. Esta hace que la atenuación se incremente, así también puede influir en el retardo de grupo.

- **Riesgo a vandalismo:** El cable de fibra óptica tiene una apariencia similar al cable de pares de cobre, por lo cual despierta el interés de los ladrones de cable telefónico, quienes confunden el cable de fibra por el de cobre.
- **Riego de daños por obra de otros servicios:** Los cables de fibra óptica están instalados en forma paralela a las carreteras o vías principales. Cada vez que un organismo público o privado realiza obras por instalaciones de edificios o de otros servicios públicos, cortan el cable de fibra al remover tierras.

2.2.3 Principales aplicaciones

Los sistemas de transmisión por fibra óptica están clasificados dentro de las llamadas redes de transporte y redes de acceso.

a. Redes de transporte

Sirven para recolectar el tráfico de sistemas de menor capacidad y enrutarlos a otras ciudades, regiones y países. Pueden ser terrestres y submarinas. Generalmente utilizan el protocolo de Jerarquía Digital Síncrona (SDH o SONET).

b. Redes de acceso

Sirven para que los usuarios accedan a los centros de conmutación o distribución de servicios. Ejemplos de ello tenemos las redes híbridas de fibra coaxial (HFC) que se utilizan para distribuir televisión por cable. En este caso la fibra óptica se utiliza para acortar la distancia del “bucle” del usuario a los nodos. Otro ejemplo de ellos son las redes ópticas pasivas (GPON) también conocidas como fibras al hogar (FTTH) el cual se viene desarrollando con el fin de que la fibra óptica llegue hasta el domicilio de los usuarios y puedan disfrutar de todos los servicios disponibles por un solo medio de transmisión.

2.3 Cómo funciona la fibra óptica

La **Fibra Óptica**, es una guía de onda dieléctrica que opera a frecuencias ópticas. Cada fibra consta de un núcleo central de plástico o cristal con un alto índice de refracción, rodeado de una capa de revestimiento de un material similar con un índice de refracción ligeramente menor.

La luz esta inyectada en el núcleo de la **Fibra Óptica**. Cuando la luz llega a la frontera entre el núcleo y el revestimiento con un índice de refracción menor, se refleja en gran parte. Cuando mayor sea la diferencia de índices y mayor el ángulo de incidencia, más intenso es la reflexión, hasta el punto que toda la luz se mantiene dentro del núcleo de la fibra y se habla entonces de la **Reflexión Interna Total**.

Para ilustrar este principio se referirá a la figura 2.2 que muestra a un rayo luminoso incidiendo desde un material a otro en la superficie de separación. Suponga que el medio material desde donde viene el rayo incidente (I), tiene un índice de refracción (n_1) mayor al del material donde el rayo luminoso se refracta (T) o transmite, tiene un índice de refracción (n_2). Se sabe que en este caso el rayo luminoso se desvía con un ángulo que se aleja de la recta normal a la separación de los dos medios. Cuando el rayo refractado (T) forma un ángulo (θ_2) de 90° con la normal, se establece la reflexión total. En este caso el ángulo de incidencia (θ_1) se denomina ángulo crítico.

La ley de Snell relaciona los ángulos de incidencia θ_1 y de refracción θ_2 cuando el rayo I que proviene del medio con índice de refracción n_1 , incide en la superficie de separación de con otro medio de índice de refracción n_2 y se refracta en el rayo T.

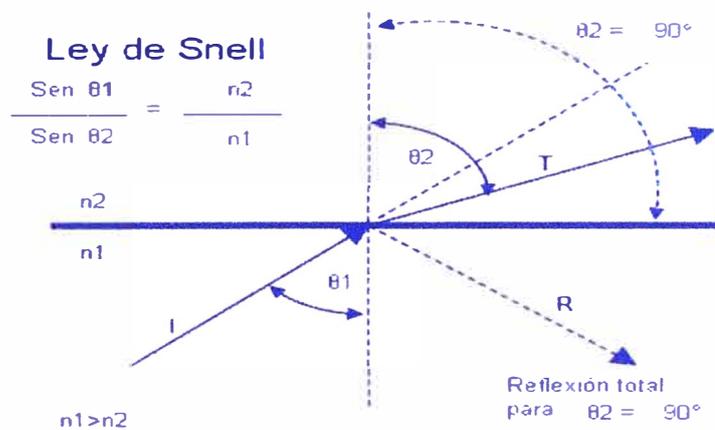


Figura 2.2 Refracción de la luz

2.3.1 Estructura física de la fibra óptica

La fibra tiene una estructura cilíndrica formada por dos regiones concéntricas, la región interior llamada núcleo y la exterior llamada revestimiento. El núcleo tiene un índice de refracción mayor al del revestimiento, por lo que la luz puede quedar confinada en el núcleo, propagándose a lo largo. La figura 2.3 muestra la estructura de una fibra óptica con su perfil de índice de refracción y los rayos luminosos confinados en el núcleo.

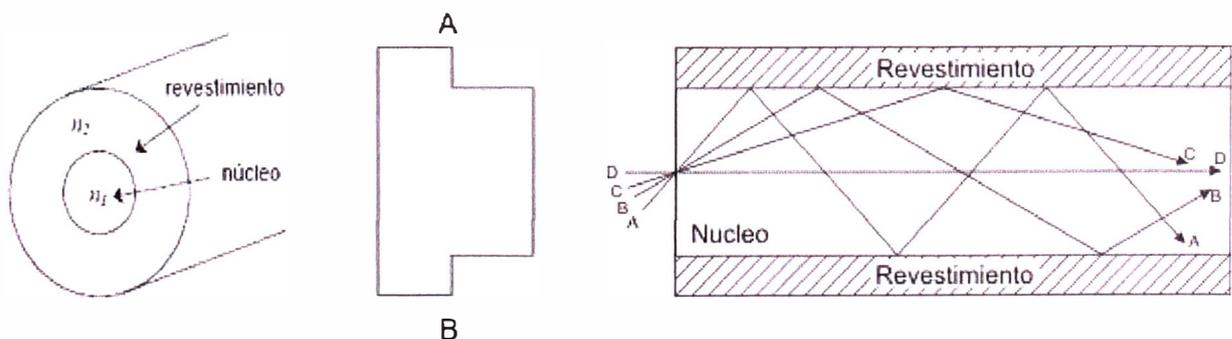


Figura 2.3 Estructura de la fibra óptica

2.3.2 Propagación de luz en la fibra óptica

La figura 2.4 muestra como los rayos luminosos que inciden en la superficie de separación del núcleo con el revestimiento de la fibra óptica se refractan hacia el revestimiento y otras que mediante reflexión total quedan confinadas en el núcleo.

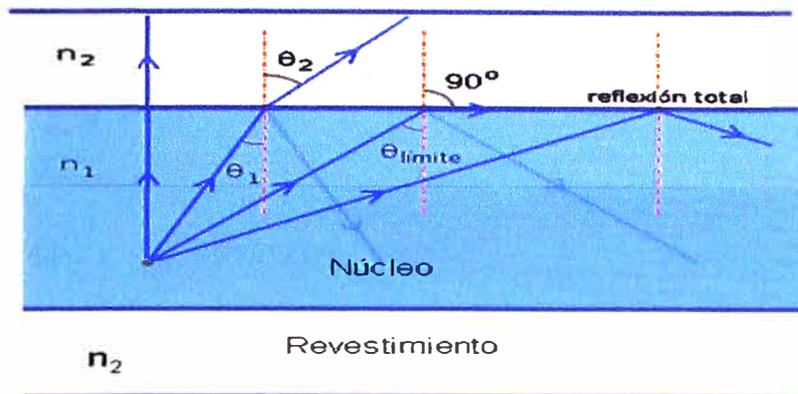


Figura 2.4 Propagación de la luz en una fibra óptica

Los haces que son confinados en el núcleo inciden en el revestimiento con un ángulo denominado ángulo límite o crítico, de tal forma que garantice que haya reflexión total. Ello da lugar a que los rayos luminosos se propaguen a lo largo de la fibra de vidrio. Cada uno de los rayos que se propagan mediante reflexión total, lo realizan con diferentes ángulos de propagación; los que se denominan "modo" de propagación.

Sin embargo para que los haces sean confinados en el núcleo, es necesario que dichos haces sean inyectados a la fibra óptica, con un ángulo respecto del eje de la fibra que se encuentre dentro del denominado cono de aceptación. El ángulo de aceptación θ_a nos muestra la capacidad de captación de energía luminosa por parte de la fibra óptica. La figura 2.5 muestra el cono generatriz del ángulo de aceptación. Al seno trigonométrico de dicho ángulo se le denomina apertura numérica (AN), que permite que los rayos luminosos sean aceptados por la fibra.

$$AN = \text{sen } \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.1)$$

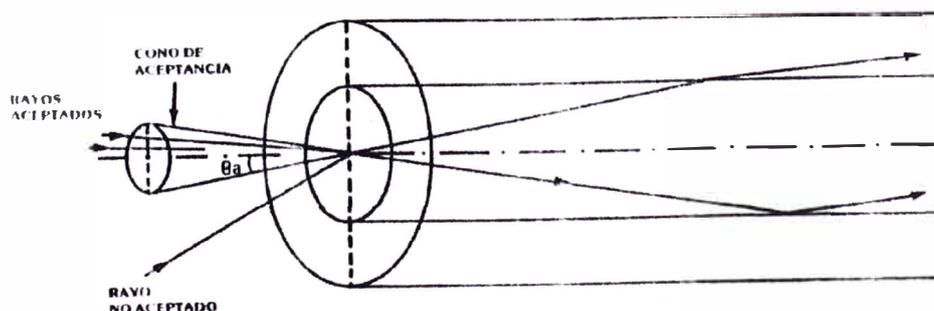


Figura 2.5 Propagación y apertura numérica

2.3.3 Tipos de fibra óptica

Tal como muestra la figura 2.6, al interior de la fibra pueden propagarse varios rayos de luz, con distintas posibilidades de propagación de la energía al interior de la fibra., a los cuales hemos denominado también modos de propagación. La forma del portador óptico, sus dimensiones, así como el perfil de su índice de refracción configuran los modos posibles de propagación.

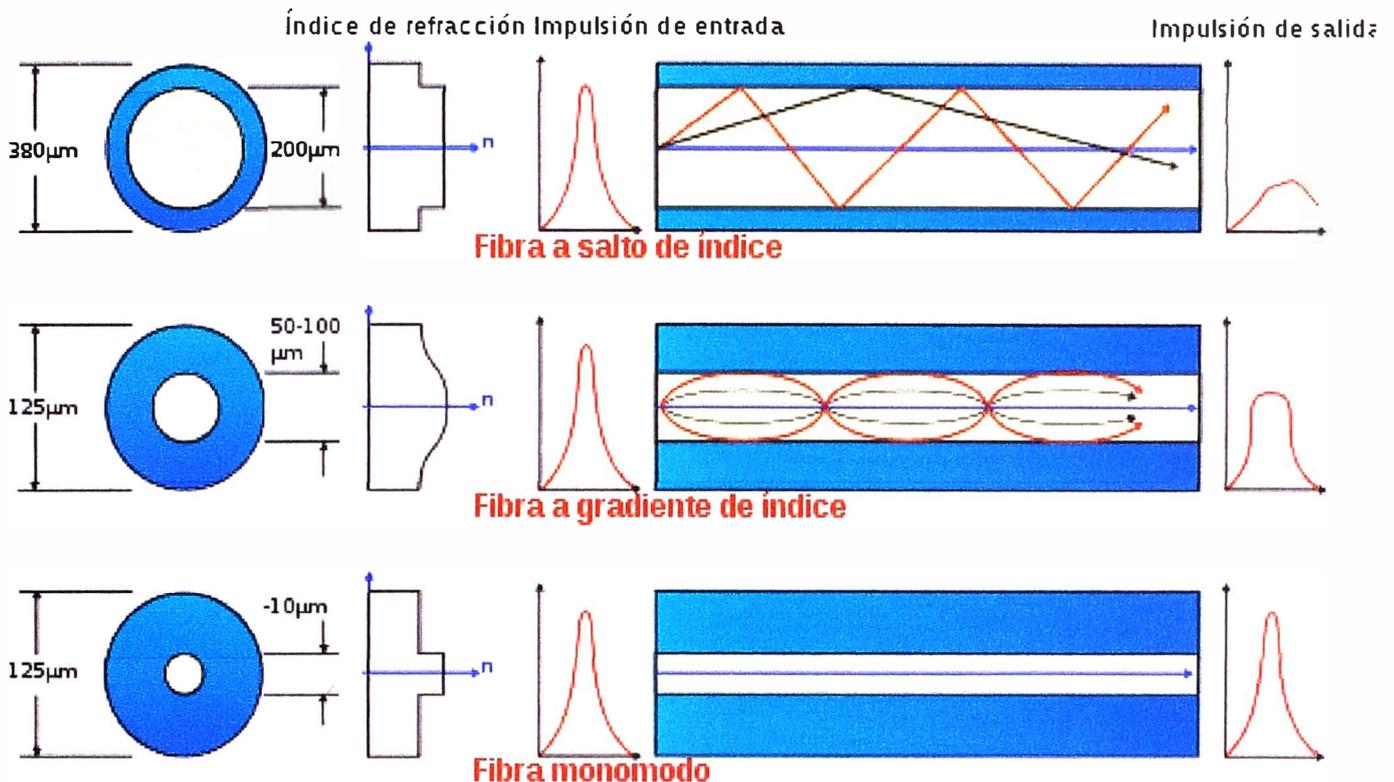


Figura 2.6: Tipos de fibra óptica

Tipos de Fibra Óptica son:

a. Fibras MultiModo, Una fibra multimodo, como su nombre indica, es aquella que puede propagar más de un modo de luz y puede llegar a tener más de mil modos de propagación de luz, Las fibras multimodo se instalan en aplicaciones de corta distancia (menores a 1 Km.), típicamente en el interior o un entorno de campus. Debido al gran tamaño de su núcleo (50 ó 100 micrones), es más fácil su instalación y conectorización y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión, haciendo este tipo de instalación más económica que la fibra Monomodo.

b. Fibras MonoModo:

Una **fibra Monomodo**, solo propaga la luz de un modo o trayectoria, esto se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño de entre 8 y 10 micrones, convirtiendo su modo de transmisión en una línea casi recta. La distancia de transmisión

es de entre 2.3 Km. a 100 Km. usando láseres como fuentes de luz, transmiten datos a elevadas tasas (hasta 10 Tb/s usando DWDM, Multiplexación Densa de Longitud de Onda), su instalación es más riguroso que las fibras multimodo, debido a la precisión requerida en la conectorización.

2.4 Características de transmisión

Todo sistema de comunicaciones tiene como características principales la atenuación y el ancho de banda. De ellas depende el alcance físico y su calidad. En la tabla 2.1 se muestra como se relacionan estas características con las propiedades de la fibra óptica.

Tabla 2.1 Características de transmisión de la fibra óptica

Característica de transmisión	Causa general	Causa específica
Atenuación	Absorción	Intrínseca Extrínseca
	Dispersión energética	Líneal (de Rayleigh) Alineal
Ancho de banda o bit rate	Dispersión modal	
	Dispersión cromática	Material Guía de onda

a. Atenuación:

Es la reducción o pérdida de la potencia óptica a lo largo de la vía de transmisión, normalmente se especifica en dB/km. Esta característica es debida a la absorción de la luz en el medio material, las mismas que tienen su origen en la agitación térmica de las moléculas y electrones del propio material de la fibra óptica y las impurezas existentes en ella. Por otro lado interesa como la luz se dispersa cuando encuentra discontinuidades del tamaño de su longitud de onda.

b. Ancho de banda

Relacionado con el conjunto de frecuencias que se pueden transmitir por la fibra óptica hasta que la señal decae a la mitad de su potencia óptica. Viene dado por la diferencia entre la frecuencia máxima y mínima de los puntos de media potencia. Se mide en MHz o Ghz. Sin embargo el ancho de banda está relacionado a la respuesta al impulso, por lo que es mejor medirlo de esta manera, ya que en la actualidad se cursan señales digitales por la fibra.

Dentro de este contexto conviene estudiar como el impulso de entrada se deforma, se ensancha o se dispersa al final de la vía de transmisión. Esta dispersión tiene su origen en la combinación de los haces que van por diferentes caminos dentro de la fibra (modal),

o por las diferentes velocidades de estos mismos haces al tener distintas longitudes de onda (cromática).

2.4.1 Ventanas de transmisión

La figura 2.7 muestra la característica de atenuación de la fibra óptica con respecto a la longitud de onda. Vemos que esta tiende a disminuir con el incremento de la longitud de onda, pero que en determinadas zonas del espectro hay un incremento abrupto de la atenuación que son debidos a la absorción de las impurezas, sobre todo de los iones hidroxilos OH. Estos picos terminan en unos valles o "ventanas" donde la atenuación se hace menor dentro de una región espectral. Los primeros portadores ópticos tenían esta curva desplazada hacia arriba con mayores niveles de atenuación, la que se ha disminuido gracias a los nuevos métodos de fabricación.. En la tabla 2.2 se muestran valores típicos de atenuación:

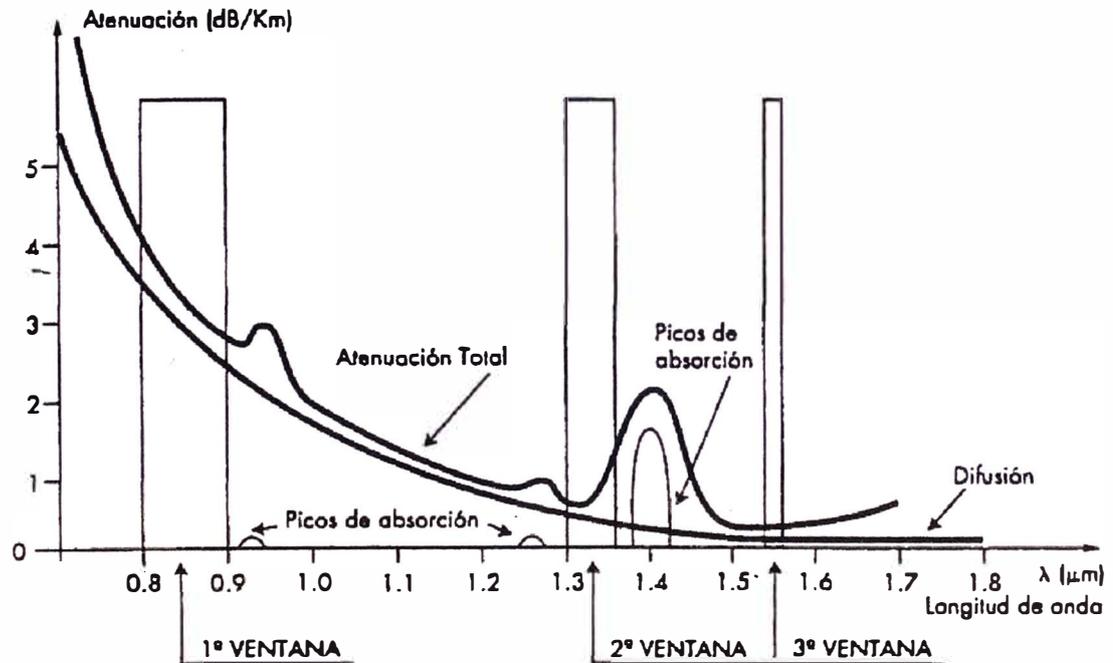


Fig. 2.7 Ventanas de Transmisión

Tabla 2.2: Atenuaciones típicas en la fibra óptica

Ventana	Longitud de onda (μm)	Atenuación (dB/km)
Primera	0.8 a 0.9	3.2
Segunda	1.30 a 1.35	0.8
Tercera	1.5 a 1.6	0.25

2.4.2 Dispersión temporal

Cuando se inyecta un impulso a la entrada de la fibra, este sufre una atenuación y a su vez un ensanchamiento, producto del fenómeno de la dispersión, tal como se muestra en la figura 2.8.

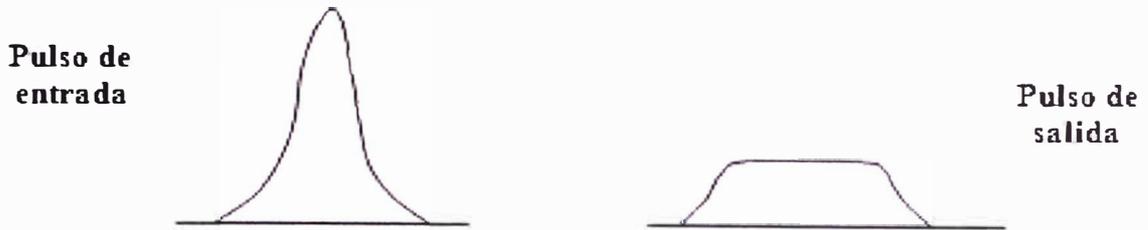


Fig. 2.8 Dispersión temporal

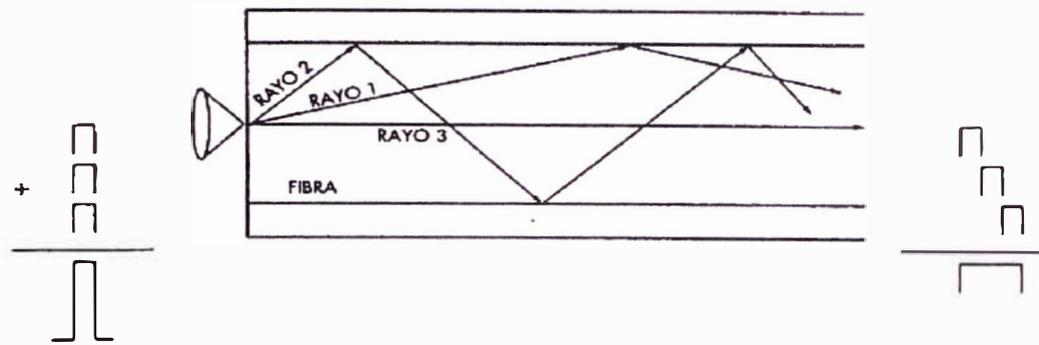


Fig. 2.9 Dispersión modal

En la Fig. 2.9 se representa dispersión Modal para una Fibra Óptica Multimodo



Fig. 2.10.- (a) Dispersión con guía de onda; (b) Dispersión cromática

La Fig. 2.10 Muestra la Dispersión material de Guía de onda Vs longitud de onda

2.4.3 Ecuaciones principales

Para proyectar un enlace de comunicaciones es necesario formular las ecuaciones matemáticas principales que resolverán los requerimientos del sistema.

a) Atenuación:

$$A = L\alpha \quad (2.3)$$

$$A = 10 \log \frac{P_i}{P_o} \quad (2.4)$$

b) Ancho de banda correspondiente a la dispersión modal:

$$B_1 = \frac{0.187}{\sigma_M} \quad (2.5)$$

c) Ancho de banda correspondiente a la dispersión total:

$$B_L = \frac{0.187}{\sigma_L} \quad (2.6)$$

$$\sigma_L^2 = \sigma_M^2 + (\sigma_{MAT}^2 + \sigma_{GO}^2) \quad (2.7)$$

$$\sigma_L^2 = \left(\frac{0.187}{B_1} L^\gamma \right)^2 + \left(\frac{\Delta\lambda L}{2.35} \right)^2 [M(\lambda) - G(\lambda)]^2 \quad (2.8)$$

En la Tabla 2.3 se muestra los parámetros de las Fibras ópticas

Tabla 2.3: Recomendación ITU-T G.652.C

Variable	Descripción	Unidad
A	Atenuación	dB
L	Longitud del tramo	Km
α	Coefficiente de atenuación	dB/Km
P _i	Potencia de entrada	dBm
P _o	Potencia de salida	dBm

Variable	Descripción	Unidad
B ₁	Ancho de banda a 1 km	GHz.km
σ_M	Dispersión modal	ns/km

Variable	Descripción	Unidad
B _L	Ancho de banda a L km	GHz
σ_L	Dispersión total a L km	ns/km
σ_M	Dispersión modal	ns/km
σ_{MAT}	Dispersión cromática material	ns/km
σ_{GO}	Dispersión cromática guía de onda	ns/km
L	Longitud del enlace de fibra	km
γ	Coefficiente dispersión modal	
$\Delta\lambda$	Ancho espectral emisor óptico	nm
M(λ)	Coefficiente dispersión cromática mat.	ns/nm.km
G(λ)	Coefficiente dispersión cromática g.o.	ns/nm.km

2.4.4 Especificaciones típicas

Los fabricantes de cable de fibra óptica, en sus catálogos, hacen referencia al cumplimiento de las recomendaciones de UIT, ejemplo ITU-T G.652 "Características de los medios de transmisión, cables de fibra óptica", (ver anexo C). En dicho documento se especifica los valores recomendados, tal como se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Recomendaciones G.652 de Cables y Fibra Óptica

Atributos de la Fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8.6 - 9.5 μ m
	Tolerancia	+/- 0.6 μ m
Diámetro del revestimiento	Nominal	125.0 μ m
	Tolerancia	+/- 1 μ m
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0.61 μ m
No circularidad del revestimiento	Máximo	10 %
Longitud de onda del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625nm	0.1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0.69 Gpa
Coeficiente de dispersión cromática	• mín	1300 nm
	• máx	1324 nm
	So mín	0.092 ps/nm ² x Km
Atributos del Cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm (Nota 2)	0.4 dB / Km
	Máximo de 1383 nm +/- 3nm	(Nota 3)
	Máximo a 1550 nm	0.3 dB / Km
Coeficiente PMD	M	20 cables
	Q	0.0001
	PMDo máximo	0.5 ps / vkm
NOTA 1.-De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD Q para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable PMD Q		
NOTA 2.-Esta región de longitud de onda puede ampliarse hasta 1260 nm añadiendo 0.07 dB / Km de pérdida por dispersión de Rayleigh inducida al valor de atenuación a 1310 nm. En este caso, la longitud de onda de corte del cable no deberá sobrepasar 1250 nm.		
NOTA 3.-La atenuación media detectada en muestras a esta longitud de onda debe ser menor o igual al valor especificado para el intervalo 1310 nm a 1625 nm, después del proceso de envejecimiento del cable.		

2.4.5 Dispositivos de fibra óptica

Los sistemas de comunicaciones ópticas requieren en una fuente de luz en el extremo transmisor y conforme la señal se atenúa es necesario amplificar su potencia para que llegue con un nivel adecuado en el extremo receptor.

Dentro de este contexto se revisan los principios de funcionamiento de los emisores de luz, los detectores de luz y los amplificadores ópticos.

2.4.6 Emisores ópticos

Son de dos tipos, los diodos LED y los diodos LASER. Están compuestos por un substrato de silicio dopado con Arseniuro de Galio, Arseniuro de Galio Aluminio o Fósforo- Indio. La emisión de la luz se controla mediante el espesor de las multicapas dopadas.

a. Diodos LED:

Son semiconductores de unión p-n que emiten una luz no coherente cuando se le polariza directamente. La energía luminosa emitida es proporcional al nivel de corriente de la polarización del diodo. Existen dos tipos de LED: los LED de superficie que emite la luz a través de la superficie de la zona activa y el LED de perfil que emite a través de la sección transversal (este tipo es mas direccional). La figura 2.11 muestra el circuito de excitación y su función de transferencia.

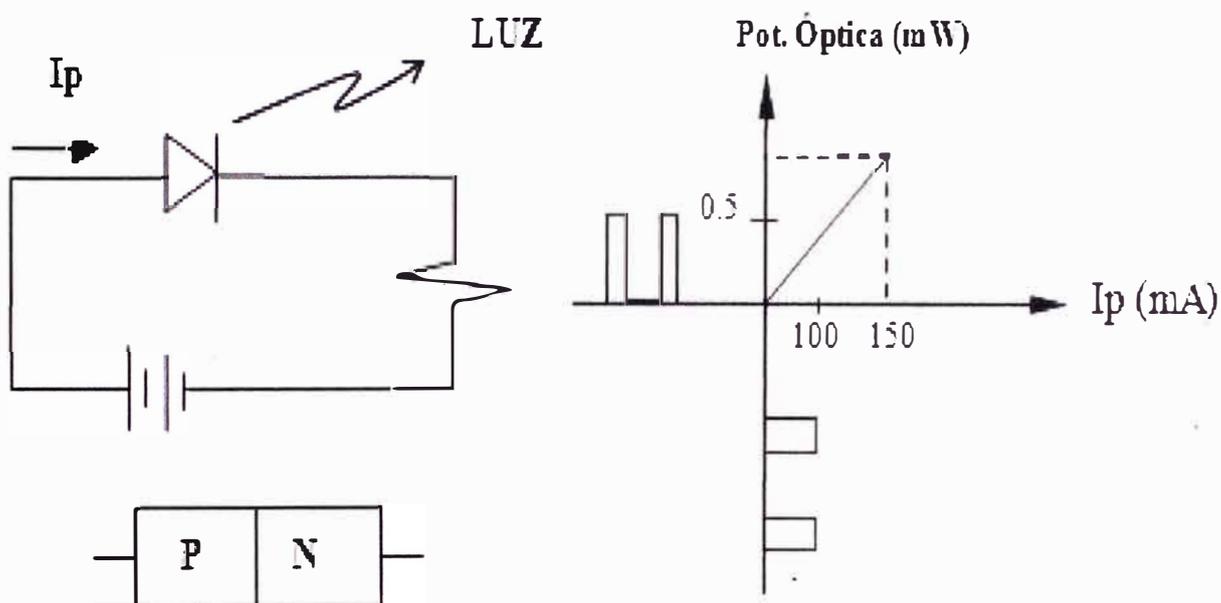


Fig. 2.11 Características de los LED

b. Diodos Laser (LD):

Consiste en una cavidad resonante donde se genera una luz coherente por emisión estimulada. La emisión del LD requiere de una corriente umbral para empezar a conducir y a niveles de corriente menores al umbral no emite ninguna corriente. El LD emite luz incoherente como un LED. La figura 2.12 muestra una comparación de los espectros emitidos por un LED y un LD donde se puede notar que la luz emitida por un LD tiene un ancho espectral mucho menor que el LED.

El ancho espectral de la de fuente de luz ayuda a disminuir la dispersión cromática.

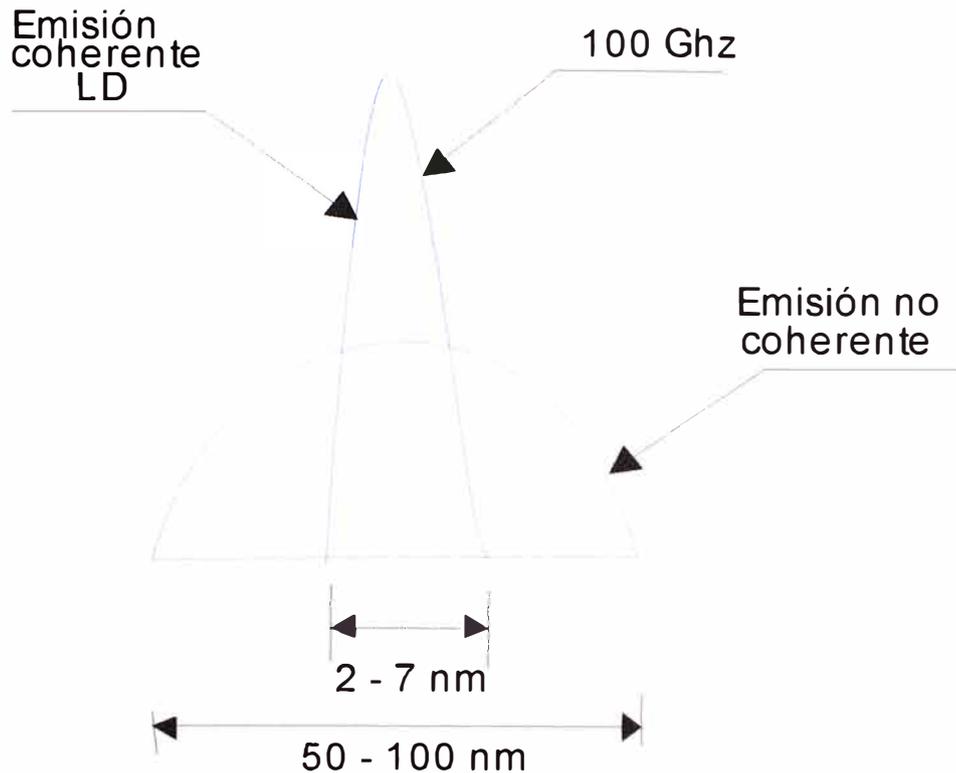


Fig. 2.12 Ancho espectral del LED y LD

2.4.7 Receptores ópticos

Llamados también foto detectores cuya función es extraer la información contenida en una portadora óptica que incide en dicho dispositivo. Para ello convierte la potencia óptica incidente en corriente eléctrica. Sus características principales son:

1. Sensibilidad alta a la longitud de onda de operación
2. Contribución mínima al ruido total del receptor
3. Ancho de banda grande (respuesta rápida)

Existen dos tipos de foto detectores:

a. Foto detectores PIN:

Son uniones p-n polarizadas inversamente en la cual se genera un campo eléctrico en la zona de juntura, llamada también zona desierta de portadores. Cuando incide un fotón en la zona desértica con mayor energía o igual a la del material semiconductor, puede perder su energía y excitar a un electrón que se encuentra en la banda de valencia para que pase a la banda de conducción. Este proceso genera pares electrón – hueco que se les llama foto portadores. Se genera un solo par electrón-hueco por fotón absorbido.

b. Fotodetectores de Avalancha APD:

Cuando al foto detector se le aumenta el voltaje de polarización, llega un momento en que la corriente crece por el fenómeno de avalancha; por lo que se genera más de un par electrón-hueco.

Cuando se aplican altos voltajes de polarización, los portadores de carga libres se desplazan rápidamente, con mayor energía y liberan nuevos portadores secundarios, los cuales también son capaces de producir nuevos portadores. Este efecto se llama multiplicación por avalancha.

2.4.8 Amplificadores ópticos

Son aquellos dispositivos que amplifican la potencia óptica sin necesidad de convertirla previamente en una señal eléctrica. Los amplificadores de fibra óptica se fabrican con tramos de fibra al que se la ha dopado con otras sustancias. Luego de ello se bombea la fibra dopada con una luz láser continuo de menor longitud de onda. El más conocido es el amplificador de fibra dopada con Erblio, en el cual se incorporan iones de Erblio al núcleo de una fibra especial. Se obtiene una gran amplificación que puede alcanzar hasta 600 km sin regeneración con un ancho de banda útil (con respuesta plana): 1530-1560nm que permite sólo un limitado número de canales. La figura 2.13 muestra el esquema del EDFA (Amplificador de Fibra Dopada con Erblio).

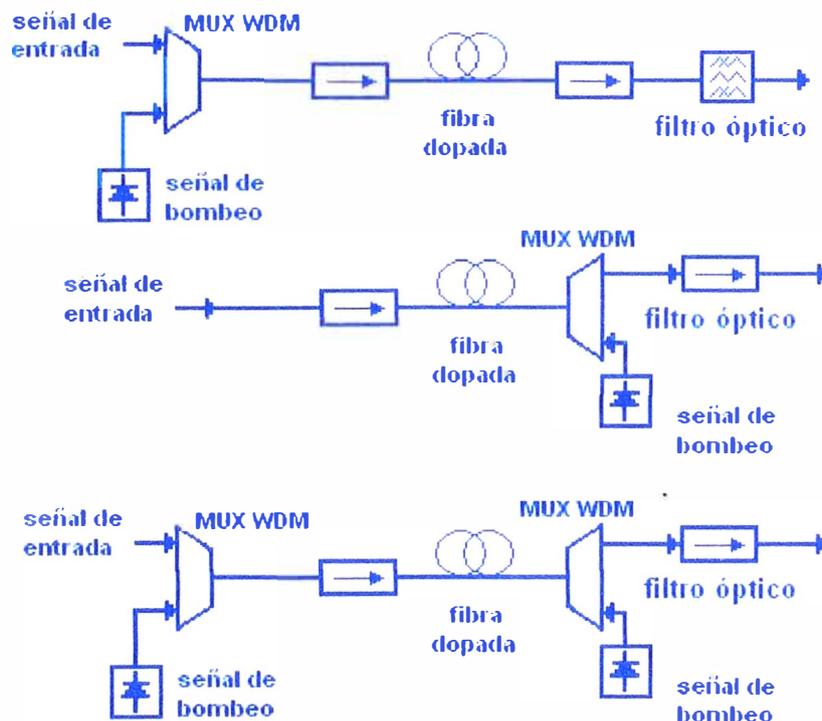


Fig. 2.13 Tipos de Amplificadores Ópticos EDFA

2.5 Instalación de la fibra óptica

La instalación de un cable de fibra óptica implica el tendido del cable en la ruta proyectada, el empalme de los tramos individuales y el conexionado en los repartidores.

2.5.1 Tendido de los cables de Fibra óptica

El tendido de los cables de fibra óptica tiene una tecnología similar a la de la instalación de los cables multipares de cobre, con ciertas particularidades propias del cable de fibra

óptica. Respecto al tipo de tendido, en la tabla 2.5 se muestran las diferentes disposiciones subterráneas y aéreas.

Tabla 2.5 Tipos de tendido del cable de fibra óptica

Tendido	Modalidad	Longitud de tramo (km)	Distancia entre empalmes (Km)	Zona
Subterráneo	canalizado	0.25	1	urbana
	en subducto enterrado	0.5	3	rural
	enterrado directamente	0.5	3	rural
Aéreo	autosoportado	0.05	1	urbano/rural
	devanado	0.05	1	urbano/rural
	soportado	0.5	3	Red alta tensión

Fuente: Manual del fabricante Alcatel

Las consideraciones especiales para el tendido de fibra óptica son:

- Controlar cuidadosamente que la tracción del cable esté dentro de los límites especificado por el fabricante (240 kg).
- Controlar cuidadosamente que en las bifurcaciones el curvado del cable se realice con un radio de curvatura mínimo de 10 veces su radio.
- Evitar cualquier tipo de aplastamiento del cable durante el tendido.
- Si es necesario desenrollar el cable desde el carrete, deberá hacerse formando una figura de ocho, para evitar quebramientos y/o roturas.
- Dejar reserva de 50 m en cámara de empalme por cada extremo a empalmar. En caso de poste la reserva por empalme será de 20 m.

2.5.2 Empalmes de Fibra óptica

Los empalmes se realizan de dos maneras: mediante conectores y por fusión. En el primer caso el uso de conectores está recomendado para enlaces de bajas velocidades o para realizar trabajos provisionales previos al empalme por fusión. En el segundo caso, el empalme por fusión es el más recomendado ya que las fibras de ambos extremos se sueldan mediante un arco eléctrico, logrando bajos niveles de atenuación.

El proceso de empalmes de fibras es una técnica muy especializada en la cual primero se preparan las cubiertas de los extremos de los cables a empalmar, luego de identificar las fibras mediante su código de colores o mediante un haz de luz, se preparan las fibras, limpiándolas y cortándolas en un ángulo perfectamente de 90° respecto de su eje, para luego fusionarlas. Seguidamente las fibras soldadas se protegen y se acomodan en una

bandeja de empalme. En la figura 2.14 se muestra un kit de empalme de fibras ópticas por conectores y otro por fusión.

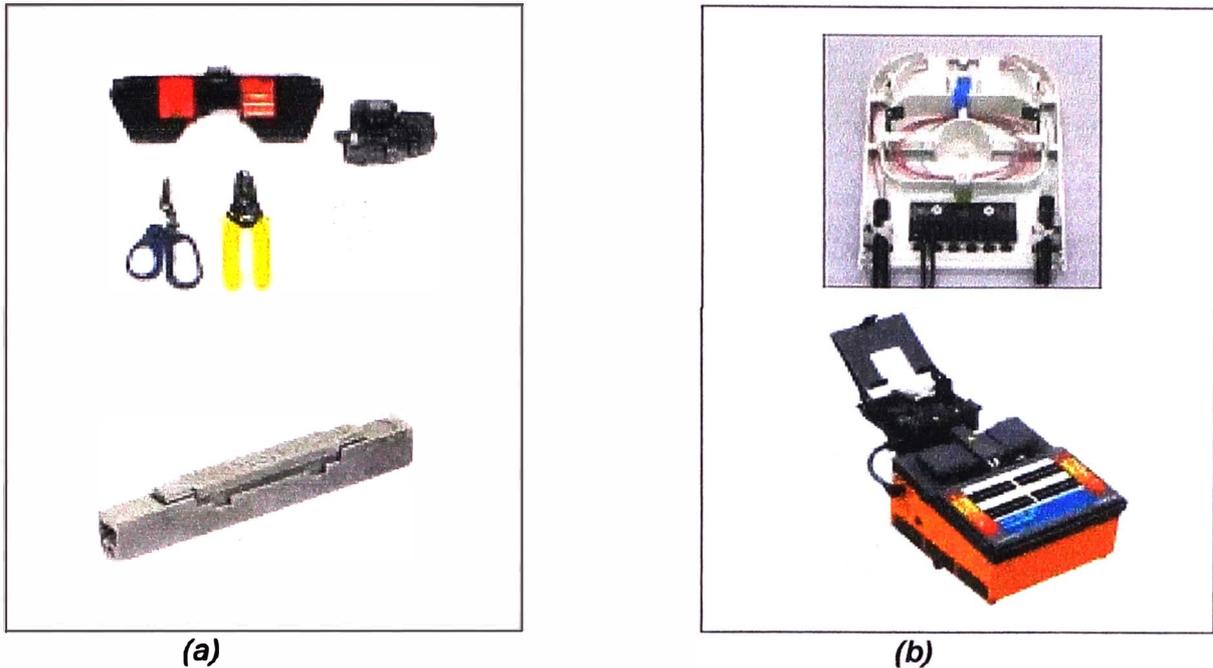


Fig. 2.14.- Kit de empalme por conectores; (b) Por fusión

2.5.3 Conexionado

Consiste en unir el cable, tendido y empalmado, en sus extremos inicial y final a los repartidores ópticos (ODF); desde donde se realizarán los enlaces a los equipos de transmisión. El repartidor óptico es un gabinete en donde se ubican las bandejas de empalmes y las bandejas de conectores. Las primeras alojan los empalmes de las fibras del cable exterior con las fibras unifilares que terminan en la bandeja de conectores. Esta última es el punto de terminación del enlace. Desde este punto se realizan las conexiones a los equipos y se realizan las pruebas de transmisión. En la figura 2.15 se muestra un ODF con la bandeja de conectores en la parte superior y la bandeja de empalmes en la parte inferior.

2.6 Pruebas típicas de la fibra óptica

Una vez culminado el proceso de instalación del cable de fibra óptica hasta el ODF, se realizan las pruebas de transmisión. Las que comúnmente se realizan son las de atenuación y las de retro esparcimiento.

2.6.1 Atenuación en Fibra óptica

La medida de la atenuación tiene como objeto medir la pérdida de potencia de extremo a extremo en un cable de fibra óptica. Esta medición cubre las pérdidas en la propia fibra óptica, en los empalmes y en los conectores que están en los repartidores ópticos.

La medición se realiza periódicamente para comprobar las pérdidas en la fibra.

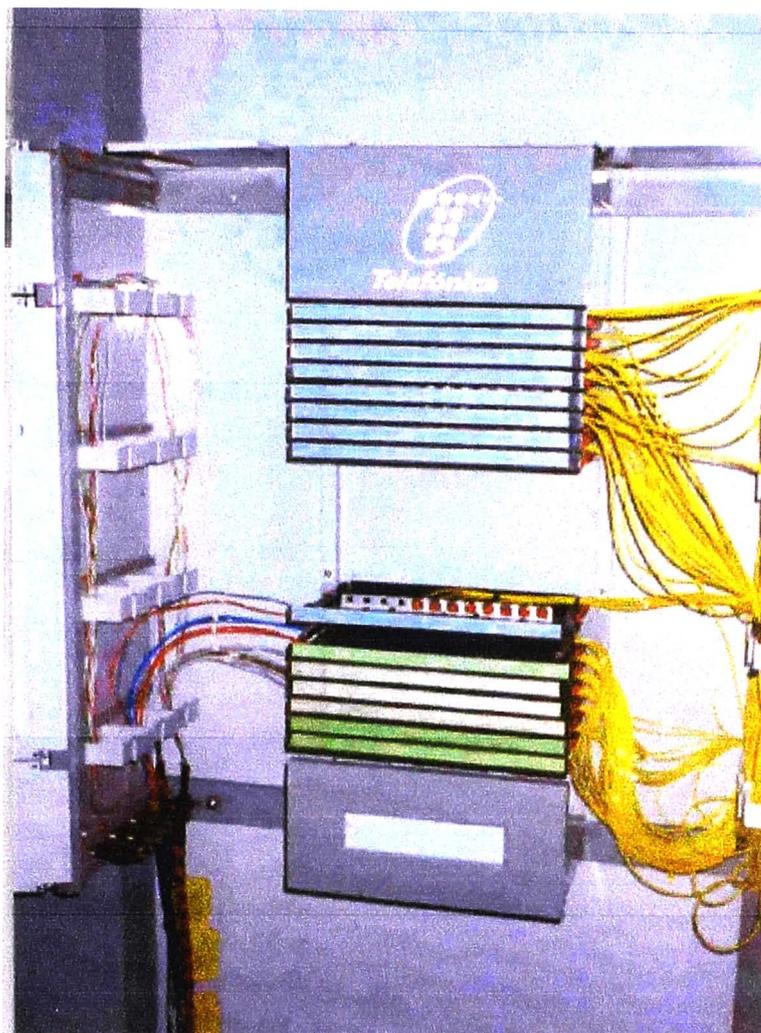


Figura 2.15 Repartidor óptico (ODF)

Para medir la atenuación se inserta una fuente de luz en un extremo y se coloca el medidor de potencia en el extremo distante. Ambos equipos se conectan a la fibra a través de los repartidores ópticos por medio de un cordón monofibra "Jumper". Las mediciones se realizan normalmente en Segunda como en Tercera Ventana.

$$A_t(dB) = P_i(dB) - P_o(dB) \quad (2.9)$$

2.6.2 Retro esparcimiento

Se refiere a las mediciones que se realiza con un reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR). Más que mediciones lo que realiza el OTDR es una caracterización de toda la extensión de la fibra, desde un extremo a otro. En ella gráficamente puede notarse la atenuación del cable en toda la vía, así como identifica y localiza y las discontinuidades o pérdidas en los empalmes y conectores.

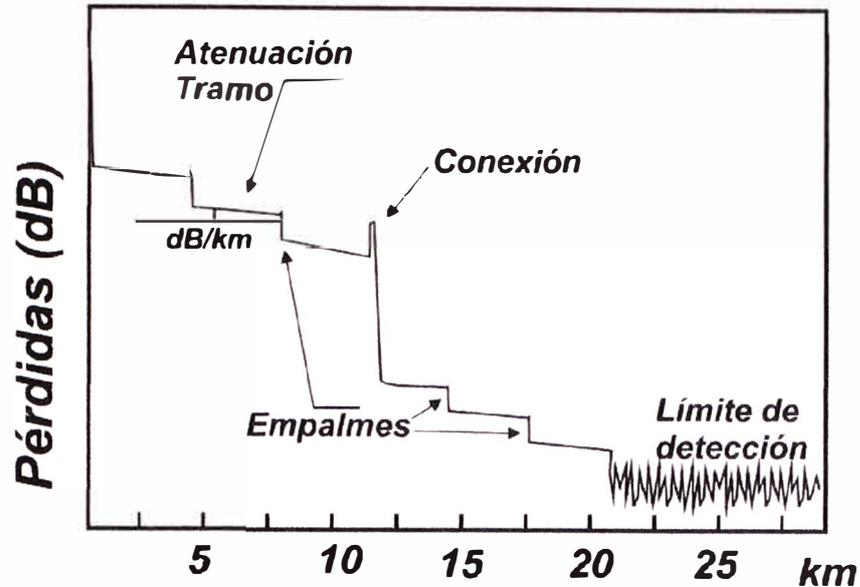


Figura 2.16 Gráfico de un OTDR

En la figura 2.16 se muestra una gráfica típica de un OTDR donde se nota el pico inicial que corresponde al repartidor óptico, así como las caídas en los empalmes. Al final de la traza se observan variaciones erráticas que tiene que ver con el límite de detección del equipo, llamado también como rango dinámico. El OTDR es un instrumento muy valioso para el mantenimiento porque puede identificar y localizar los cortes de la fibra en la planta exterior.

2.7 La multiplexación óptica

La demanda creciente de servicios de comunicaciones con un mayor contenido de información o mayor ancho de banda ha motivado el crecimiento de la infraestructura y la introducción de nuevas tecnologías. Dentro de este contexto se tiene la alternativa de ampliar la capacidad de los cables de fibra óptica o incrementar la capacidad de transmisión de las fibras que en están instaladas en dichos cables. De manera similar a los sistemas de comunicaciones por radio, en donde es posible que a través de dicho medio de transmisión pasar varias señales en ciertas ventanas de frecuencia; en las fibras ópticas es posible transmitir varias señales de distintas longitudes de onda en un solo portador óptico.

2.7.1 Multiplexación por División de Longitud de Onda - WDM

La multiplexación por división de longitud de onda (WDM) es una modalidad de transmisión, que consiste en enviar varias señales ópticas de diferente longitud de onda a través de una sola fibra. Con ello es posible incrementar la capacidad de transmisión enviando simultáneamente señales de diferentes sistemas analógicos y digitales; así

como señales en ambos sentidos de transmisión. La figura 2.17 muestra el esquema del WDM.

WDM requiere un multiplexor o acoplador óptico en el lado transmisor que pueda combinar señales y un demultiplexor o filtro que pueda separar las señales en el lado receptor. El principio de funcionamiento de estos acopladores o filtros se basa en la interferometría y la refracción. En la figura 2.18 se muestra un demultiplexado a través de un prisma, el cual refracta el rayo luminoso compuesto en diferentes rayos que son luego enfocados a diferentes fibras. El mismo principio puede usarse para la multiplexación.

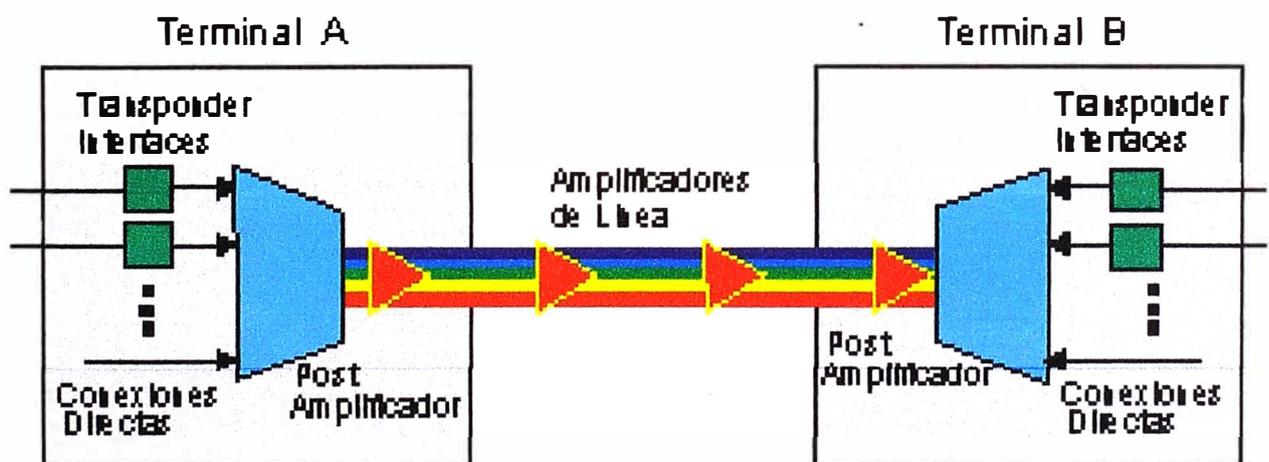
Se presentan los siguientes tipos de DWM:

2.7.2 Multiplexación por División aproximada de longitud de onda - CWDM:

La multiplexación por división aproximada de longitudes de onda se utiliza para transportar señal de video (CATV) en conductores de fibra MultiModo. Tiene la recomendación: ITU-T G.694.2 .

Sus características principales son:

- Espaciamiento de frecuencias de 2.500 GHz (20nm), dando cabida a láseres de gran anchura espectral.
- 18 longitudes de onda, en el intervalo de 1270 a 1610 nm
- Los CWDM actuales tienen su límite en 2,5 Gbps.
- En cuanto a las distancias que cubren llegan hasta unos 80 km.
- Utilizan láser DBF (láseres de realimentación distribuidos) sin peltier ni termistor.



ESQUEMA DE UN SISTEMA DWDM

Figura 2.17 Esquema de un sistema WDM

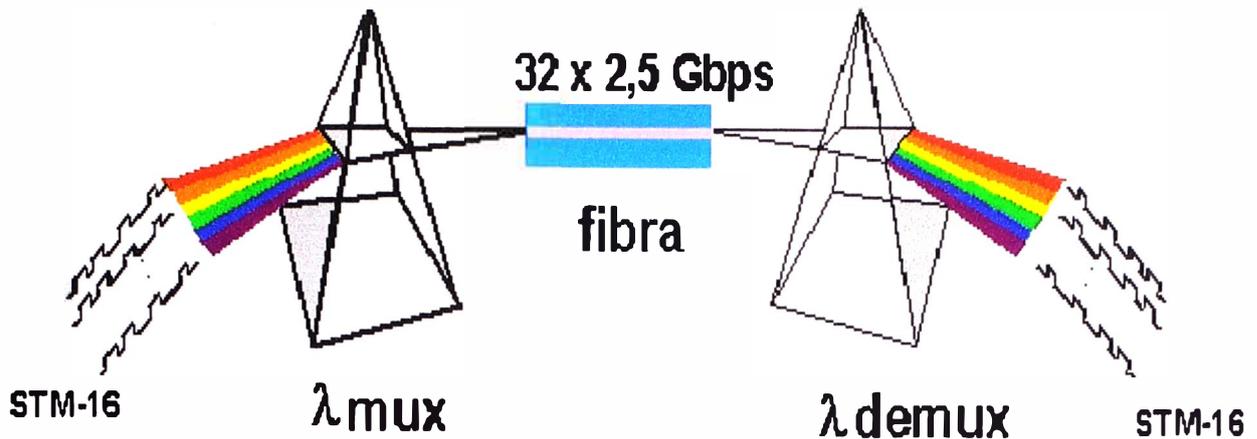


Figura 2.18 Multiplexor y Demultiplexor óptico

Usa filtros ópticos de banda ancha, multiplexores y demultiplexores basados en TFF (tecnología de película delgada)

- Mayor espaciamiento de longitudes de onda, lo que indica que si hay una variación en la onda central debido a imperfecciones de los láseres producidos por procesos de fabricación menos críticos esta onda se mantendrá en banda.
- Mayor espectro óptico, esto nos permite tener un número de canales para utilizar sin que estos sean disminuidos a causa de la separación entre ellos

2.7.3 Multiplexación por División Densa de Longitud de Onda - DWDM:

La Multiplexación por División Densa de Longitud de Onda, ordena señales ópticas dentro de la tercera ventana de 1550 nm con una separación de 0.8 nm (cerca de 100 GHz).

Los sistemas DWDM tiene un mayor requisito de estabilidad de la longitud de onda, ya que entre cada una de ellas existe poco espacio dentro del espectro. Por lo que se requiere un control preciso de la temperatura de operación de los diodos láser. Debido a que DWDM proporciona una gran capacidad de información, se le utiliza en redes de mayor jerarquía que CWDM, por ejemplo en las Rutas Principales donde cursan grandes tasas de bits.

Las recientes innovaciones en los sistemas de transporte con DWDM módulos transceptores capaces de operar sobre 40 u 80 canales. Esto reduce dramáticamente la necesidad de usar módulos separados, ya que un solo módulo puede operar un gran rango de longitudes de onda. Hoy existen sistemas con separación de 50 Ghz y 25 Ghz que implican un espaciado de hasta 160 canales.

Se muestran a continuación algunos sistemas DWDM:

b1. 10.2 Tbps hasta 100 Km (Alcatel):

- Fibra Teralight
- 256 canales x 40 Gbps
- Amplificadores Erblio/Raman

b2. 10.3 Tbps hasta 7300 km (Alcatel):

- 300 canales (bandas C y L) x 10 Gbps
- Amplificadores EDFA

b3. 10.9 Tbps hasta 117 km (NEC)

- 273 canales (incluye bandas L, C, y S) x 40 Gbps
- Año 2004

b4. 40 Gbps hasta 1000km (Ciena) sobre 1 λ única

2.8 La Dispersión de Modo de Polarización (PMD)

A la vez que los operadores de telecomunicaciones requieren de anchos de banda cada vez mayores, un nuevo fenómeno de dispersión impide la transmisión a tasas elevadas (por encima de 2.5 Gbps), ya que la afecta ensanchando el pulso. Esto implica el incremento de la tasa de errores y por lo tanto una limitación del ancho de banda, creando distorsión en las señales o limitando el número de canales.

La dispersión por modo de polarización (PMD) es un tiempo de Retardo Diferencial de Grupo (DGD, differential group delay) entre dos modos ortogonalmente polarizados, que causa la dispersión de los impulsos en los sistemas digitales y distorsiones en los sistemas analógicos. La PMD es un fenómeno aleatorio causado por cambios locales o distribuidos de índice de refracción a lo largo y ancho de la fibra.

Este nuevo tipo de distorsión PMD se basa en que el campo electromagnético de la luz puede ser descompuesto en dos ejes ortogonales que se definen como modos de polarización o Estados Principales de Polarización (PSP), que viajan independientemente a lo largo de la fibra y que dependiendo de las propiedades físicas de la fibra óptica pueden viajar a velocidades diferentes (modo rápido y modo lento. Este fenómeno llamado también birrefringencia (doble refracción), está relacionado a la dependencia del índice de refracción respecto a sus coordenadas cartesianas x, y z. Siendo una fibra isotrópica cuando el índice de refracción es igual en todas las direcciones y anisotrópica cuando no lo es.

Ya que la birrefringencia afecta la velocidad de los modos de polarización, a su vez permite un intercambio de energía o acoplamiento entre los modos de polarización. Lo que trae como consecuencia el ensanchamiento del pulso, con lo cual se limita el incremento de la velocidad de modulación de la señal digital.

La PMD es una característica relacionada con el proceso de fabricación de la fibra, fabricación de cables, la instalación y su mantenimiento; así también con la temperatura. En cualquiera de estos procesos puede haber micro curvaturas, micro fisuras, alargamientos, aplastamientos, puntos de tensión mecánica, deformación del núcleo o del revestimiento; que varían las propiedades del portador óptico.

Al igual que la atenuación es afectada por los esfuerzos mecánicos o excesivos radios de curvatura, estos factores también influyen en el PMD. El retardo de grupo diferencial (DGD), conocido también como ($\Delta\tau$) medido en picosegundos, es la diferencia de tiempo en los retardos de grupo de los dos estados de polarización principal (PSP). Este retardo varía de manera aleatoria de acuerdo con la longitud de onda y factores ambientales, pudiendo haber una variación de hasta dos o tres veces el valor mínimo. Esta varianza hace que la PMD se incremente.

a. Medida de la dispersión de modo polarizado - PMD:

La PMD se expresa normalmente en pico segundo para fibras de un largo conocido. La PMD viene a ser el promedio o la raíz cuadrática media del retardo de grupo diferencial (DGD), que es a su vez la diferencia de los retardos de grupo de los dos modos de polarización principal PSP (rápido y lento).

$$\begin{aligned}PMD &= \text{Average}(DGD) \\PMD &= \text{RMS}(DGD)\end{aligned}\tag{2.10}$$

La PMD también se puede expresar como coeficiente PMD, el cual es un valor normalizado para una particular longitud medida (L) y se expresa en ps/Km si el acoplamiento es débil. Para acoplamientos fuertes el coeficiente PMD se expresa en ps/ $\sqrt{\text{km}}$. Un enlace de varias secciones de fibra tendrá coeficientes PMD diferentes al coeficiente de todo el enlace. La tabla 2.6 muestra la recomendación ITU-T G.691.

Tabla 2.6 Recomendaciones PMD

Velocidad de transmisión (Gbps)	PMD máxima (ps)	Coficiente de PMD para 400 km de fibra (ps/ $\sqrt{\text{km}}$)
2.5	40	≤ 2.0
10	10	≤ 0.5
20	5	≤ 0.25
40	2.5	≤ 0.125

La ITU-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones) recomienda que el retardo diferencial de grupo (DGD) máximo en un enlace de fibra óptica no debe superar el 30% del ancho o duración de un bit (TB), con el fin de no superar una penalidad de potencia

de 1 dB producto de la distorsión provocada por la PMD. Considerando que la DGD tiene un comportamiento aleatorio y distribución Maxwelliana, la PMD debiera encontrarse en un rango menor a $DGD_{\max}/3$. Dado que DGD_{\max} correspondería al 30% de TB. En otras palabras, el PMD_{\max} permitido sería la décima parte del ancho del bit para una determinada velocidad de enlace, tal como se muestra en la tabla 2.7.

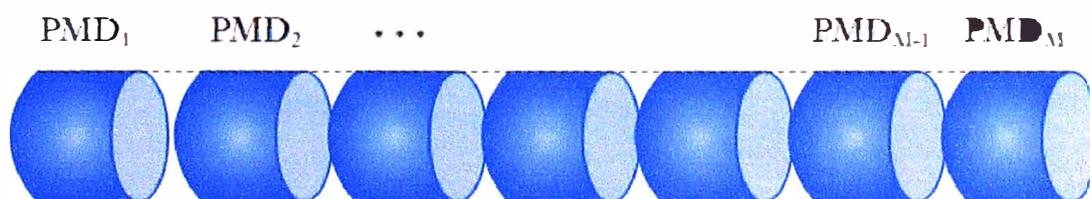
Tabla 2.7 Recomendaciones PMD

Velocidad de transmisión (Gbps)	TB (ps)	PMD máxima (ps)
2.5	400	40
10	100	10
20	50	5
40	25	2.5

En la tabla 2.8 se muestra como la ITU-T, en sus recomendaciones sobre cables de fibra óptica G.652, realiza la especificación sobre el coeficiente PMD. En ella se establece que si se instala un enlace de fibra óptica con un determinado cable suministrado por cierto fabricante y que dicho enlace se despliega con 20 tramos o secciones iguales de cable empalmados; el enlace de 20 secciones tendrá un coeficiente PMD menor a $0.5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$. Sólo habrá una probabilidad de 0.01 % de que el coeficiente PMD sea mayor al especificado.

Tabla 2.8 Especificación G.652

Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0.01%
	PMD_Q máximo	$0,5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$



$$PMD_{LINK}(M) = \frac{1}{M^{1/2}} \times [PMD_1^2 + PMD_2^2 + \dots + PMD_M^2]^{\frac{1}{2}}$$

Fig. 2.19 Cálculo del coeficiente PMD de un enlace

Las especificaciones y/o recomendaciones, ITU-T G, Unión Internacional de Telecomunicaciones, se indican en el **Anexo C** de este informe.

$$COEF_{PMD} = PMD / \sqrt{L}$$

2.11

Para un enlace que tiene M secciones de cable, se puede decir que cada sección tiene un coeficiente PMD que también tiene un comportamiento aleatorio, en el cual cada sección contribuye al coeficiente PMD total. En consecuencia el coeficiente PMD del enlace puede calcularse de la manera mostrada en la figura 2.19.

b. Métodos de medida del PMD:

La recomendación ITU-T G.650.2 establece los siguientes métodos de medida: Interferométrico, Barrido de las longitudes de onda y Análisis de las matrices de Jones. En la tabla 2.9 se muestran los atributos de cada uno.

2.9 Sistemas de Tecnología Inalámbrica

Los sistemas inalámbricos conectan a los usuarios con redes públicas o privadas mediante señales de radio, sustituyendo a los conductores en el trayecto de conexión entre el suscriptor y el switch (conmutador).

Tabla 2.9 Métodos de medida del PMD

	Interferométrico	Barrido de las longitudes de onda	Análisis de las matrices de Jones
Ventajas	Poco costoso	Rápido	Mejor cuando Δt está entre los estados de polarización
	Cálculo directo de la PMD promedio	Multi instrumento	Detalla cada estado
	Más rápido		Estadísticas detalladas sobre la PMD
	Insensible a las vibraciones en la fibra		Menor retraso
	No requiere comunicación extremo a extremo		
	Rango de hasta 100 ps Rango dinámico relativamente amplio		
Desventajas	Resolución limitada por el ancho espectral de la fuente	Indirecto	Lento
	Polarización fija	Sensible a las vibraciones en la fibra	Sensible a las vibraciones en la fibra
	Un solo instrumento dedicado	Comunicación extremo a extremo	Comunicación extremo a extremo
		Costoso	Muy costoso
		Compromiso entre el rango dinámico (amplio rango espectral) y un valor elevado (estrecho rango espectral)	
	Un solo estado de polarización fijo		

Las alternativas que presentan los sistemas inalámbricos para el usuario son:

- a. **Banda angosta (narrowband):** ofrece reemplazar a la telefonía existente
- b. **Banda ancha (broadband):** puede proveer alta velocidad en el servicio de voz y datos, En la Figura 2.20, se muestra un esquema de un Sistema inalámbrico.

Los dispositivos que cuentan con alguna tecnología inalámbrica son usualmente antenas, computadoras portátiles, PDA's, teléfonos móviles, reproductores multimedia y otros. En estos casos la transmisión de datos toma lugar en una red inalámbrica, a través de diferentes puertos. Una red inalámbrica puede ser de corta distancia. Una de larga Distancia es utilizada para comunicaciones entre diferentes ciudades o países, mientras que una de corta distancia es utilizada dentro de un mismo edificio o entre varios edificios cercanos dos métodos de redes inalámbricas son las Bluetooth y WiMax.

Las ventajas sobre los sistemas cableados son:

- * Tiempos de instalación
- * Costo de instalación
- * Escalabilidad

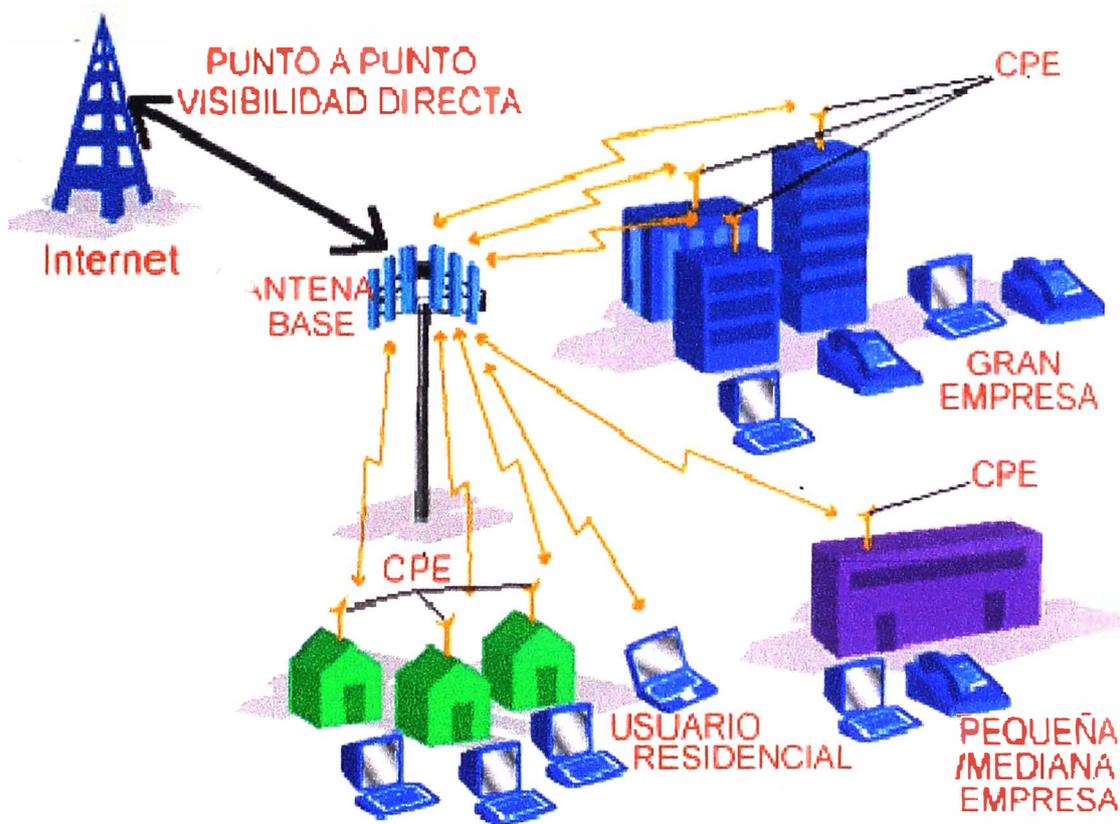


Fig. 2.20 Sistema de comunicaciones inalámbrico

2.9.1 Sistemas Inalámbricos LMDS

LMDS, Servicio de Distribución Multipunto Local, es una tecnología Inalámbrica de banda ancha, que opera en la banda Ka.

LMDS, es un sistema de acceso inalámbrico fijo, es similar a los sistemas MMDS y WLL.

2.9.2 Estructura del Sistema LMDS

En cuanto a su estructura la tecnología LMDS posee una gran similitud a una red celular, considerando las múltiples ventajas que proporciona el dar un servicio a terminales fijos, tales como:

- **El radio de la celda**, oscila entre los 2 a 7 Km dependiendo de la geografía de la zona, la frecuencia y las pérdidas que puedan haber en cada enlace. Conociendo que en enlaces mayores a 10 GHz, se presentan atenuaciones en la señal por la presencia de gases atmosféricos y lluvia.
- **Mayor ancho de banda por usuario**, esto se debe primordialmente a la alta frecuencia de operación y a que el sistema realice un enlace dedicado para cada abonado.
- **La zona de cobertura** de una estación base, está dividida en sectores. Debido a que cada sector posee una frecuencia portadora asignada, para poder reutilizar las mismas, LMDS usa la técnica de polarización de las señales. En sectores en donde los usuarios requieren un mayor ancho de banda o exista una gran densidad de suscriptores, la solución está en añadir otra frecuencia portadora de dicho sector.
- **La reutilización de frecuencias** es aplicable sólo para sectores adyacentes, esto se debe alta directividad de las antenas.
- **El solapamiento** de celdas en un sistema LMDS es utilizado para mejorar las zonas de cobertura.

2.9.3 Arquitectura de sistema LMDS

- La arquitectura de un sistema LMDS está constituida esencialmente por dos elementos: Una estación base (BS) y una terminal de usuario (IDU).
- La estación base (BS) es una interface entre la red de servicio inalámbrico y la red pública o privada.
- Un sistema LMDS puede constar de varias estaciones base que pueden interconectarse por medio de enlaces de radio frecuencia (punto – punto) o bien un anillo de fibra óptica.
- Los terminales de usuario IDU (Unidad de Interiores) son los equipos que se conectan a cada abonado. Adicionalmente cada uno posee una antena directiva hacia la antena de la BS, siendo obligatorio que exista línea de vista entre los dos puntos.
- El sistema no obliga a que exista una IDU por usuario final, sino que con una sola terminal de usuario se pueda servir a un grupo de usuarios finales, en este caso la IDU funcionaria como un multiplexor del servicio, repartiendo ancho de banda según sean las exigencias de los usuarios finales usando interfaces diferentes como Ethernet, E1, T1, etc. La figura 2.21 muestra la arquitectura del Sistema inalámbrico LMDS.

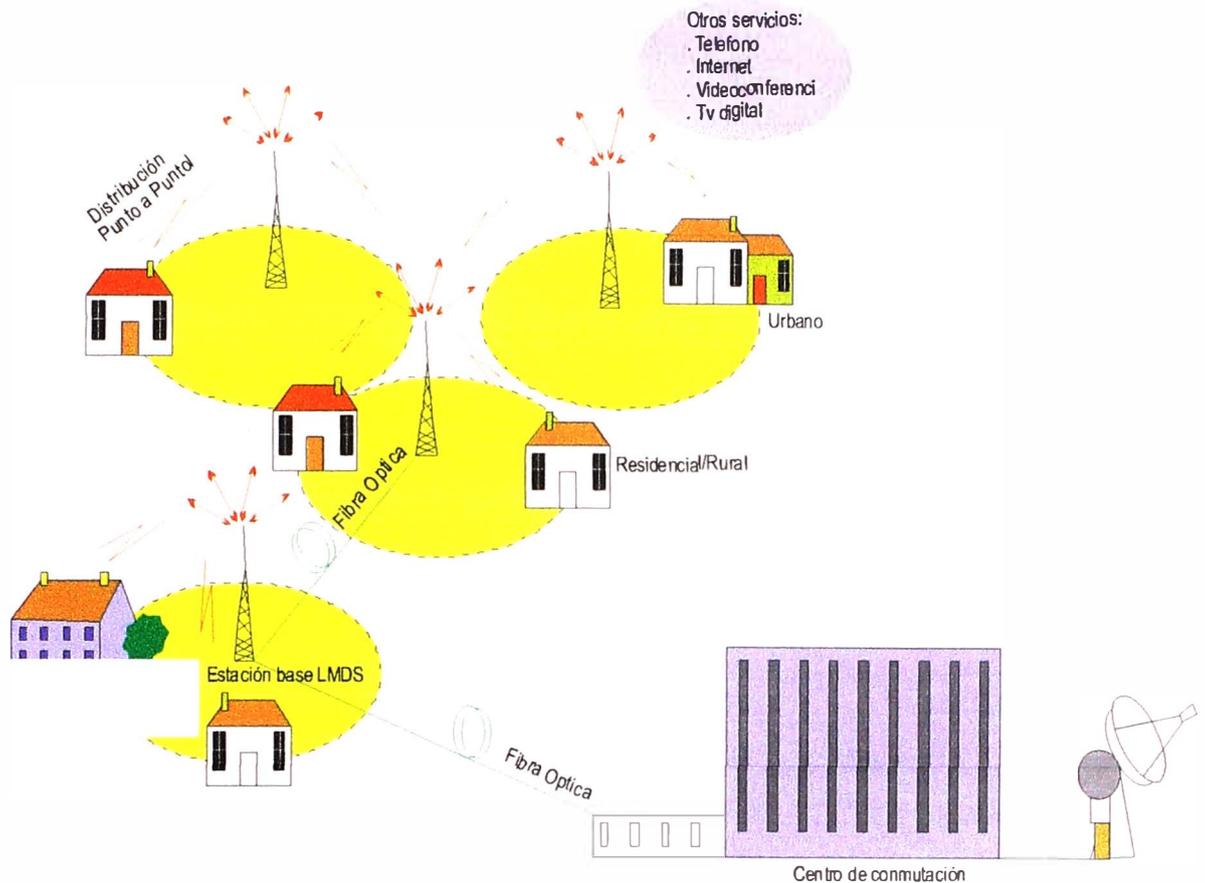


Figura 2.21 Arquitectura del sistema MLDS

2.9.4 Mecanismos de acceso

En este tipo de sistemas se presentan dos mecanismos de acceso claramente definidos, el primero es un acceso punto a multipunto (desde la estación base hacia los usuarios) y debido a que es un sistema bidireccional, se presenta también el segundo tipo de mecanismo de acceso que es punto a punto (desde el usuario hacia la estación base). Por lo tanto, existen dos tipos de enlaces:

- Enlace ascendente y
- Enlace descendente

En cuanto al primero, desde el usuario sube información (voz, datos, etc.) se puede utilizar tanto TDMA como FDMA, como técnicas de acceso hacia la red. Mientras que cuando tenemos un enlace descendente es más óptimo para la red utilizar como técnica de acceso TDMA.

2.9.5 Sistema inalámbrico MMDS

MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service) es una tecnología inalámbrica similar al sistema LMDS en cuanto a su estructura, mecanismo de acceso y arquitectura.

Se distingue de LMDS en algunos aspectos tales como:

- Comúnmente opera en bandas de frecuencia que oscilan entre 2.15 a 2.68 GHz.

- Es usado para dar servicio en áreas remotas y áreas rurales, mientras que LMDS sirve solo para entornos urbanos.
- Debido a que MMDS opera en frecuencias mucho más bajas que LMDS su radio de cobertura es más amplia, donde teóricamente su radio de cobertura es de 50 Km y su señal se ve menos afectada por pérdidas debidas a la presencia de gases atmosféricos, lluvia y es menos susceptible a ser interferida por objetos.
- Los costos de los equipos son menores que los LMDS, esto se debe a que los equipos que operan en bajas frecuencias poseen un mayor desarrollo, mientras que en altas frecuencias todavía están en pruebas.
- La principal desventaja que presenta el sistema MMDS con respecto a LMDS es su bajo ancho de banda para ofrecer a los usuarios, razón por la cual se ve más orientado a servir a sectores residenciales.

2.9.6 Sistema Inalámbrico Wi-Fi (Wireless Fidelity)

Wi Fi, no es más que el nombre comercial del grupo de normas (estándares) 802.11 de IEEE y está respaldado por la Alianza Wi Fi conformado por más de 150 empresas especialistas en el ámbito de las comunicaciones, entre las que sobresalen: Cisco, Nokia, 3Com, entre otras.

El 802.11 se podría definir como una familia de estándares cada una con sus características en términos de: Frecuencia de operación, rango de cobertura, aplicaciones, velocidad de transmisión, etc.

Las versiones más conocidas y aplicadas son:

- 802.11 Original
- 802.11 a
- 802.11 b
- 802.11 g

2.9.7 Norma Estándar de Transmisión 802.11 Original

La versión original del estándar 802.11, fue emitida en 1997 para velocidades fijas de 1 y 2 Mbps, que podían ser transmitidas por infrarrojo (IR) o bien vía radio en la banda ISM de 2.4 GHz, en este segundo caso aplicando técnicas de espectro ensanchado como FHSS o DSSS.

Esta versión con el afán de evitar las colisiones usaba CSMA / CA (Carrier Sense Multiple Acces/collision avoidance) como método de acceso. Dos años más tarde sería ratificado pero mejorado tras la incursión de la nueva versión 802.11 b.

Todos estos estándares han ido mejorando en cuanto a la velocidad de transmisión y el ofrecimiento de nuevos servicios, tales como:

- 802.11 b 11 Mbps

- 802.11 a 54 Mbps
- 802.11 g 54 Mbps
- 802.11 c Precisa características de Bridges (acceso puntual)
- 802.11 d Dominios internacionales
- 802.11 e Mejora la calidad del servicio (QoS)
- 802.11 h Usa selección dinámica de frecuencia
- 802.11 i Proporciona un mejoramiento en la seguridad
- 802.11 j Aporta extensiones para Japón
- 802.11 k proveerá un mejoramiento en la medición de los recursos de radio
- 802.11 l reservado y no será utilizado
- 802.11 m Mantenimiento del estándar
- 802.11 n Más alta salida usando MIMO
- 802.11 p Acceso inalámbrico para el medio ambiente vehicular
- 802.11 q reservado y no será utilizado
- 802.11 r Conexión más rápida
- 802.11 t Predicción inalámbrica eficaz
- 802.11 u interconexión sin redes (redes celulares)
- 802.11 v Administración de redes inalámbricas.
- 802.11 w En proyección
- 802.11 x En proyección

2.10 Sistemas de Antenas

Los sistemas de antenas, constituyen una de las partes muy importantes dentro del Sistema de Comunicaciones debido a que de ello depende que se realice una comunicación eficiente, entre las características principales de las antenas, tenemos:

- Ganancia (directividad)
- Patrón de radiación
- Ancho de Haz
- Discriminación de polarizaciones cruzadas
- Pérdidas por retorno
- Aislamiento entre puertos de diferentes
- Polarizaciones
- Intermodulación
- Resistencia al aire y al hielo
- Relación de Potencia a 0° y 189°
- Características mecánicas

- Sensibilidad

La figura 2.22 representa una antena del sistema inalámbrico LMDS.



Figura 2.22 Sistema de Antena LMDS

2.10.1 Tipos Sistemas de Antenas

Los sistemas de Antenas que se utilizarán para solucionar el problema en la transmisión de señales utilizando la tecnología LMDS, son diversos, todos ellos deben tener un rendimiento eficaz y seguro.

Las antenas se instalan en línea de vista.

2.10.2 Requerimientos de diseño

El diseño de antenas de los sistemas celulares implica un compromiso en los requerimientos de:

- Definición del servicio
- Calidad del servicio
- Capacidad
- Costos de capital y de operación
- Requerimientos de recursos incluyendo el espectro
- Precio / asequibilidad del usuario final
- Coexistencia con otras tecnologías de radio
- Calidad de materiales
- Impacto ambiental

- Entre otros parámetros

2.10.3 Patrón de radiación

El Patrón de radiación de una antena, es un diagrama polar que representa la intensidad de los campos (Campo eléctrico E) o densidad de potencias en varias posiciones angulares. La figura 2.23 representa un ejemplo de Patrón de Radiación.

Patrón de radiación

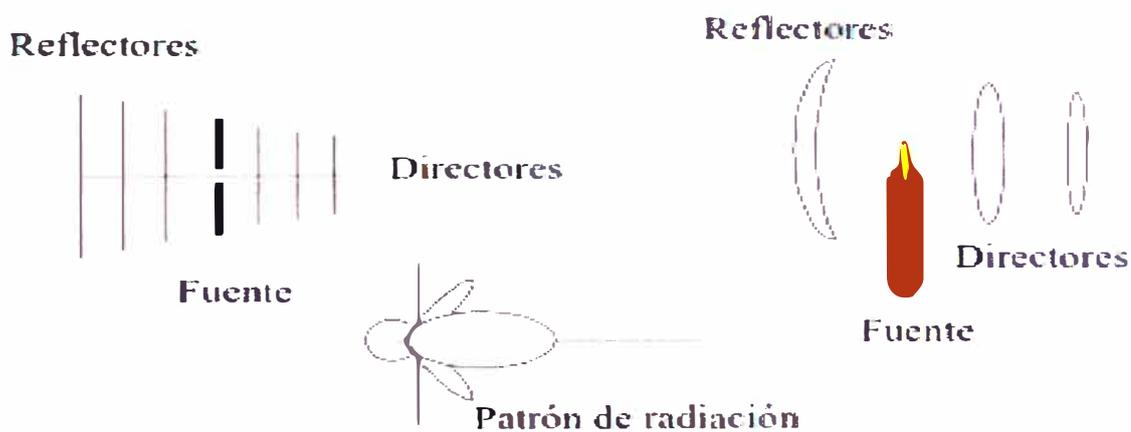


Figura 2.23 Patrón de Radiación

CAPITULO III

METODOLOGIA PARA LA SOLUCION DEL PROBLEMA

3.1 Introducción

El problema planteado en el Capítulo I, *Estudio de implementación de un Sistema de Comunicaciones Gubernamental*, tiene como solución, la utilización de la red de fibra óptica nacional ya instalada y se propone una ampliación a nivel de Sierra y Selva, la misma que debe servir como sistema de transporte y los enlaces deben hacerse con los sistemas inalámbricos.

Los equipos de radio enlace deben ser de tecnología inalámbrica y el montaje de los diversos sistemas de antenas de gran rendimiento y cobertura para todas las zonas de silencio a la vista de las señales de radio.

Debemos planificar el sistema a implementar para prestar servicios de transporte de información al sector gobierno de tal manera que se enlacen todos los pueblos de la Sierra y Selva con los pueblos de la Costa.

En el estudio de implementación tomaremos como referencia al Ministerio del Interior como primera institución estatal que hará uso de este servicio interconectando a las dependencias de la Policía Nacional y las oficinas propias del gobierno interior en todos los niveles y en forma descentralizada en todo el país.

En la red de transporte se indican las características de la fibra Óptica a ser utilizada, así como las características de los equipos de radio a ser utilizados en las ciudades.

3.2 Proceso de Implementación del Sistema de Comunicaciones Gubernamental

En el Capítulo I, se planteó las interrogantes siguientes:

- a. ¿La implementación del sistema de comunicaciones beneficiará al sector y justificará la inversión?
- b. ¿Qué características deberá tener el sistema a implementar, a fin de tener una comunicación fluida y eficiente?

Respuesta a la Pregunta a:

Como sabemos nuestro país adolece de una comunicación integral en los diferentes sectores del gobierno, por lo que creemos que su implementación sería una tarea muy

importante sobre todo para el Ministerio del Interior. En cuanto a la parte de la inversión, el Estado no haría grandes desembolsos, debido a que la Instalación de Fibra Óptica se puede optar por realizarlo con inversión Privada por el método de las concesiones. Para la inversión en equipos inalámbricos y antenas, el costo aproximado es de 40 millones de Dólares, valor que justifica el costo beneficio a obtener.

Respuesta a la Pregunta b:

El sistema a implementar debe cumplir con las normas internacionales de comunicación establecidas en el ITU-T, tales como: G.101, G.102, G.107.1, G.120 entre otras, así como las establecidas por el MTC, tal como el Art. 199º de la Ley General de Telecomunicaciones, R.M. 015-2012 MTC/03, en cuanto a la parte legal y en la parte técnica, el sistema debe ser eficiente, seguro y económico.

3.3 Objetivos del Informe

El presente informe de suficiencia tiene los siguientes objetivos:

- a. Plantear alternativas para que el sistema a implementar pueda soportar altas velocidades y tenga conexión inalámbrica.
- b. Establecer normas para la instalación, operación y cronograma de supervisión de mantenimiento del sistema.
- c. Contar con personal capacitado para la operación y mantenimiento.
- d. Contar con la infraestructura de ambientes adecuados
- e. Contar con instalaciones de energía y pozos de tierra

3.4 Características de los enlaces de microondas

Los enlaces de microondas deben tener las siguientes características:

- Enlaces digitales
- Capacidades n x2 Mbps
- Troncal principal SDH
- Configuración 1 + 1 HSB
- Capacidad de multiplexaje integrado
- Estructura 1 + 1 con diversidad de espacio en lugares que sea necesario
- Multiplexores "drop-insert"
- Tarjetas de 5 canales 4 hilos E&M
- Tarjeta 4 canales tecnología V35 / V36
- Transmisión de voz, Datos y Video

Las antenas para los enlaces de microondas, se instalarán en las torres que sean que sean necesarias ya sea en lugares libres o en el techo de los edificios y si fuera necesario, se utilizarán mástiles, fuentes de energía (48 V).

Sistema de supervisión, constituido por un centro de supervisión nacional y 25 centros de supresión regional instalados en cada departamento, ubicados en las jefaturas PNP.

3.4.1 Tipo de Fibra óptica a instalarse

Para este trabajo se utilizará la fibra óptica Monomodo, con el fin de lograr mayores distancias sin regeneradores y por ser más económicas.

La longitud de cable de fibra óptica actualmente alcanza a 13,933 Km, quedando por instalar una longitud de 25,200 km que comprende toda la Sierra y la Selva, ésta proyección tomará aproximadamente 04 años en ejecutarse y además irá de la mano con los proyectos de redes eléctricas y construcción de carreteras.

Los cables de Fibra óptica Monomodo pueden ser de 4, 6, 12, 24 y 36 fibras

Características:

- Núcleo semi compacto.
- Relleno de gel.
- Elemento compensador de tracción (aramida)
- Material no halógeno y resistente a la combustión.

Aplicación

- Cable interior no metálico para terminaciones directas.
- Su alta flexibilidad y sus reducidas dimensiones lo hacen ideal para cableados de puestos de *trabajo*.

Propiedades térmicas

- Transporte y almacenamiento -25°C hasta +70°C.
- Instalación -5°C hasta +50°C.
- Temperatura de servicio -5°C hasta +70°C.

Propiedades mecánicas

- Dimensiones exteriores 5,6-6,1-7,0 mm.
- Peso 21-30-38 kg/km.
- Radio de curvatura mínimo estático 40-55-60-70 mm.
- Radio de curvatura mínimo dinámico 85-90-95 mm.
- Resistencia al fuego (MJ/m) 0,47-0,52-0,55.
- Fuerza de tracción máxima 800 N.
- Resistencia máxima al aplastamiento 200 N/dm.

La figura 3.1, muestra la proyección de la instalación de la nueva red nacional de Fibra óptica, la cual será concesionada a varias operadoras privadas de telecomunicaciones.

La libre disposición de contar con un hilo o pelo de fibra óptica para que el Ministerio del Interior, requiere de un Convenio Marco entre pueda cursar el tráfico correspondiente a sus actividades.

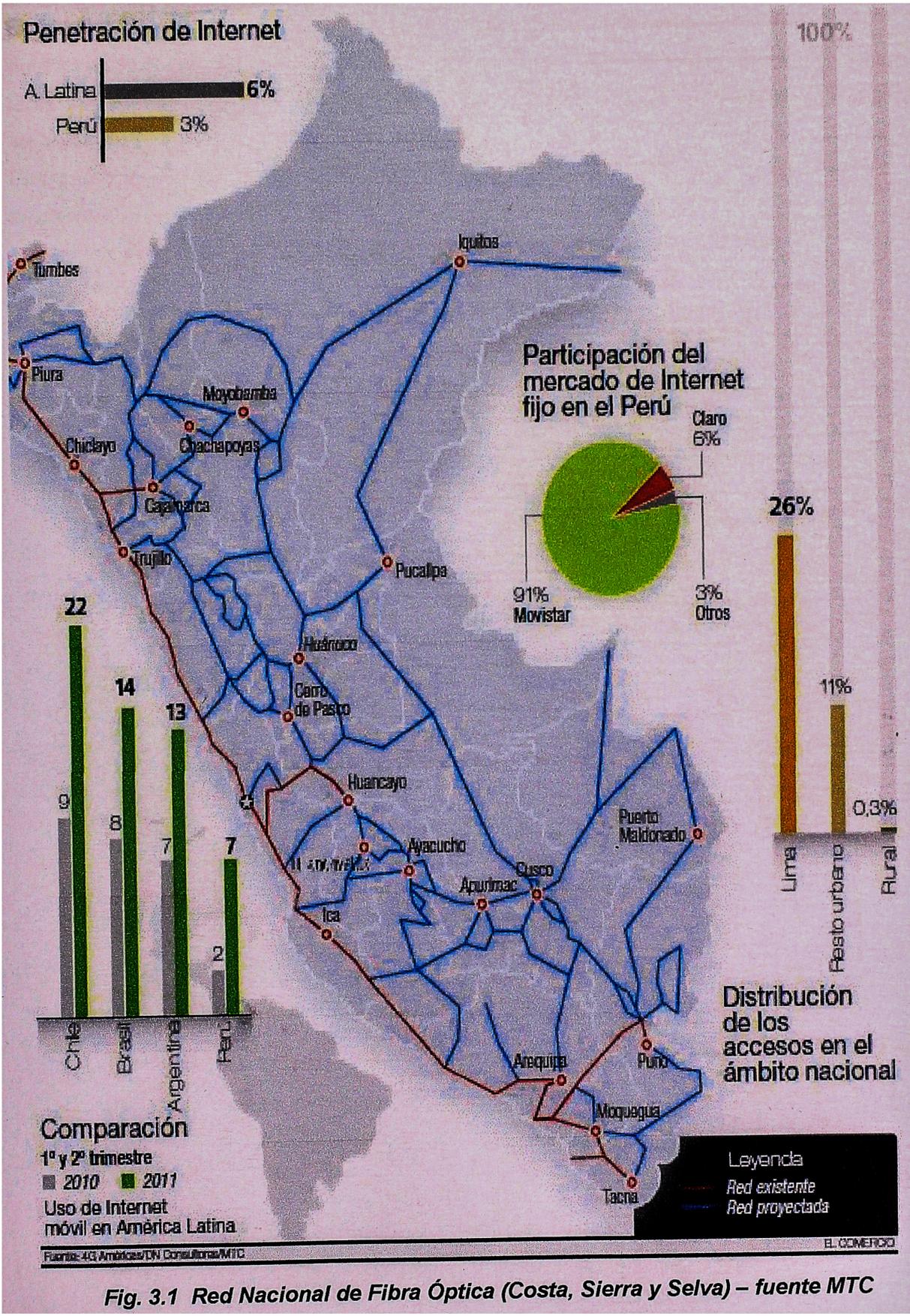


Fig. 3.1 Red Nacional de Fibra Óptica (Costa, Sierra y Selva) – fuente MTC

3.4.2 Número de conexiones de Banda Ancha por Departamento

En la tabla 3.1 se indica el número de conexiones que se deben hacer por Departamento cuando se instale el cable de fibra óptica a nivel nacional (Costa, Sierra y Selva). En esta tabla se indica que se pueden acceder otros Ministerios gracias a la capacidad que presenta la fibra óptica.

Particularmente, el Ministerio del Interior puede disponer de 19,555 conexiones nivel de todos los Departamentos, Provincias, Distritos y Centros Poblados.

Tabla 3.1 Conexiones totales por Departamento con indicación Del utilizado por los Órganos del Gobierno

DEPARTAMENTO	TOTAL	MININTER	OTROS MINIST.
Lima y Callao	826,834	2,200	12,000
Arequipa	56,893	2,000	8,500
Tacna	14,639	800	3,500
Moquegua	5,980	300	1,100
La Libertad	59,374	2,450	11,800
Ica	24,555	1,350	3,500
Lambayeque	35,264	1,700	4,300
Ancash	26,689	1,400	3,600
Tumbes	4,797	300	950
Piura	35,885	1,720	4,200
Cusco	23,245	1,200	3,420
Madre de Dios	2,124	220	710
Junín	21,442	1,250	3,100
Ucayali	6,129	400	1300
Cajamarca	14,310	600	1500
Puno	12,764	500	1100
Ayacucho	6,046	250	800
Huánuco	6,925	260	850
San Martín	6,000	165	650
Apurímac	2,791	185	450
Pasco	1,615	80	265
Huancavelica	1,449	65	198
Amazonas	1,234	45	155
Loreto	2,282	90	315
Total	1,199,266	19,555	108,263

Fuente: evaluación estadística del autor

3.4.2 Número de conexiones de Banda Ancha por Departamento

En la tabla 3.1 se indica el número de conexiones que se deben hacer por Departamento cuando se instale el cable de fibra óptica a nivel nacional (Costa, Sierra y Selva). En esta tabla se indica que se pueden acceder otros Ministerios gracias a la capacidad que presenta la fibra óptica.

Particularmente, el Ministerio del Interior puede disponer de 19,555 conexiones nivel de todos los Departamentos, Provincias, Distritos y Centros Poblados.

Tabla 3.1 Conexiones totales por Departamento con indicación Del utilizado por los Órganos del Gobierno

DEPARTAMENTO	TOTAL	MININTER	OTROS MINIST.
Lima y Callao	826,834	2,200	12,000
Arequipa	56,893	2,000	8,500
Tacna	14,639	800	3,500
Moquegua	5,980	300	1,100
La Libertad	59,374	2,450	11,800
Ica	24,555	1,350	3,500
Lambayeque	35,264	1,700	4,300
Ancash	26,689	1,400	3,600
Tumbes	4,797	300	950
Piura	35,885	1,720	4,200
Cusco	23,245	1,200	3,420
Madre de Dios	2,124	220	710
Junín	21,442	1,250	3,100
Ucayali	6,129	400	1300
Cajamarca	14,310	600	1500
Puno	12,764	500	1100
Ayacucho	6,046	250	800
Huánuco	6,925	260	850
San Martín	6,000	165	650
Apurímac	2,791	185	450
Pasco	1,615	80	265
Huancavelica	1,449	65	198
Amazonas	1,234	45	155
Loreto	2,282	90	315
Total	1,199,266	19,555	108,263

Fuente: evaluación estadística del autor

3.4.3 Orientación de las antenas en las ciudades para lograr máxima cobertura

Como se ha dicho anteriormente, la orientación de las antenas es muy importante con el fin de lograr máxima cobertura en las ciudades; es decir, lograr que la señal llegue a los rincones de silencio.

La máxima cobertura se puede lograr inclusive instalando antenas repetidoras para generar las celdas, microceldas y picoceldas.

3.4.4 Elementos de una Estación de comunicaciones inalámbrico

- Usuarios Finales
- Equipamiento de usuario final
- Receptor / Transmisor RF
- Receptor RF de bajo ruido
- Equipo decodificador, adaptador de señales RF para su recepción decodificada por el terminal de usuario, puede ser Tv, Radio, Set Top Box, Tarjeta Pc, Spliter o Modem de Internet.

3.4.5 Esquema de la Red Privada de Comunicaciones en Lima y Callao

En la figura 3.2, se presenta la red de comunicaciones que será implementada en la ciudad de Lima y Callao, con indicación de los puntos donde se instalarán las antenas repetidoras (C° La Milla, C° Morro Solar, C° La Atarjea, C° La Cantuta, Sede del Ministerio del Interior y Aeropuerto Jorge Chávez), que se enlazan con las unidades Policiales en todo Lima.

En la figura 3.3, se presenta un despliegue más detallado y jerarquizando la red de comunicaciones por Unidades de mayor cobertura.

3.5 Configuración de la Red

3.5.1 Cobertura:

- Norte Ancón
- Sur Cañete
- Este Matucana

3.5.2 Estaciones o Lugares de Repetición

- Morro Solar 15 repetidoras
- Cerro La Milla 10 repetidoras
- Cerro la Cantuta 05 repetidoras
- MININTER 8 repetidoras
- AEROPUERTO 05 repetidoras
- Cerro la Atarjea 04 repetidoras
- Centro Cívico 08 repetidoras

- Unidad del Rímac : 04 repetidoras

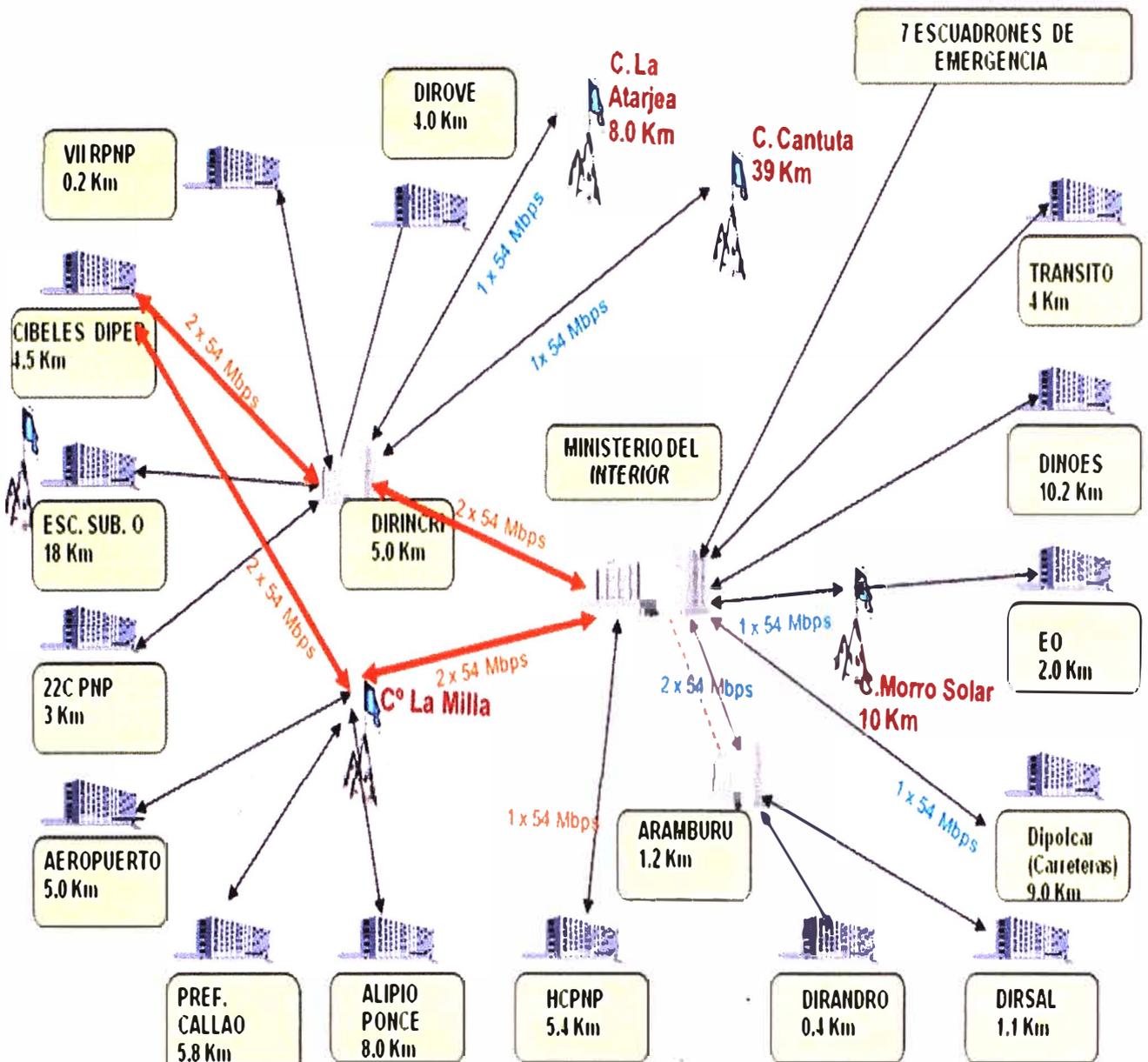


Figura 3.2 Enlaces de la Policía Nacional en Lima

3.6 Despliegue del Sistema de Comunicaciones

Por la cantidad de unidades que tienen que conectarse al sistema, se tiene que Priorizar en orden de mayor cobertura.

La red de comunicaciones del Ministerio del Interior-Policía Nacional para la Región Lima Metropolitana, está conformada por ocho (8) Nodos principales, cada uno de ellos con una cantidad determinada de repetidoras según el área que vayan a cubrir.

Para las zonas de silencio que se produzcan, se irá incrementando la instalación de repetidoras hasta cubrir todas las dependencias policiales de los diferentes Distritos.

El tipo de tecnología utilizada para todos los radioenlaces que constituyen la Red Inalámbrica del Ministerio del Interior es Spread Spectrum (Espectro ensanchado/Banda Expandida) de Secuencia Directa en la Banda de 2,4 GHz (ISM).

La figura 3.3 representa los enlaces de mayor cobertura.

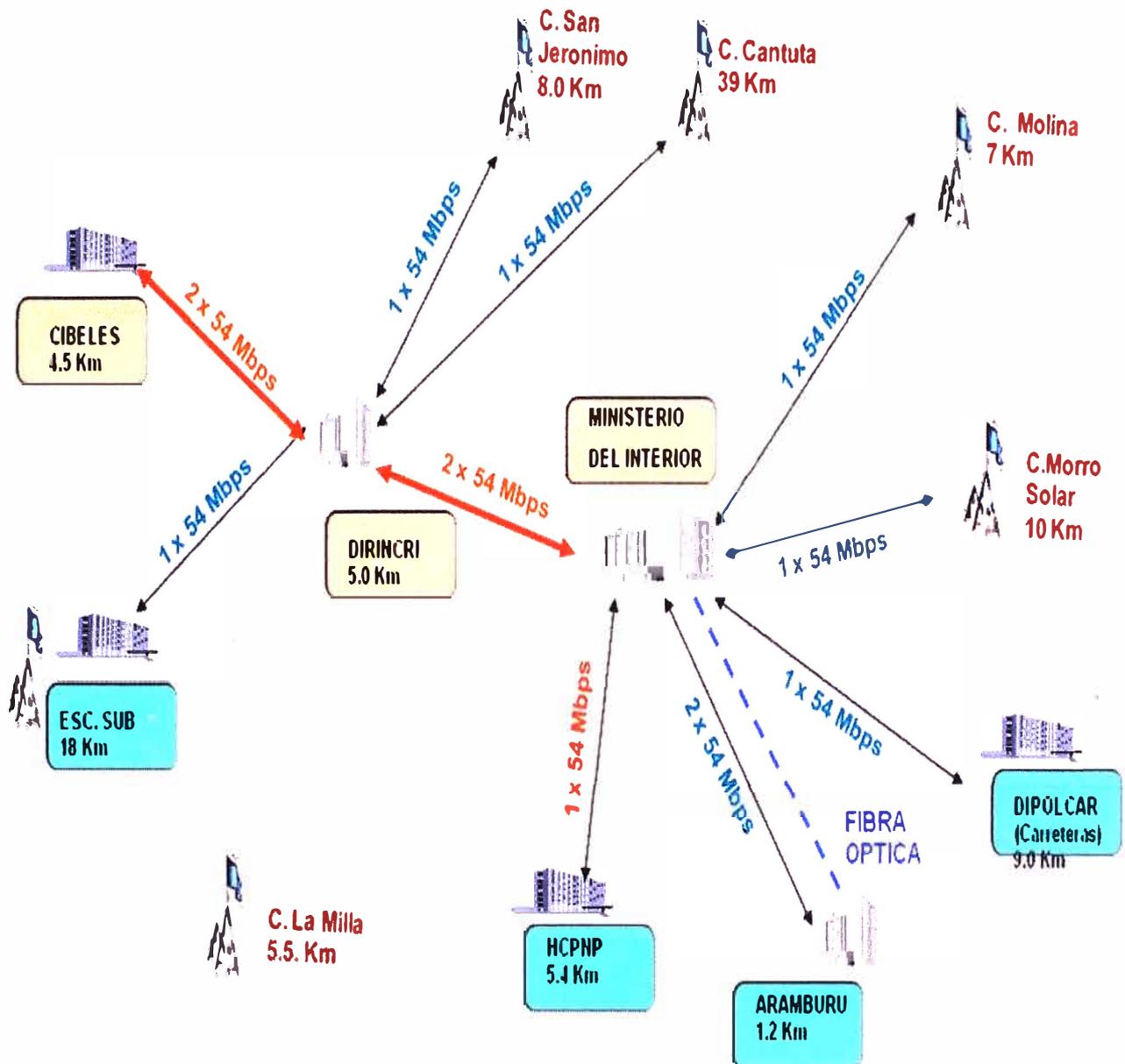


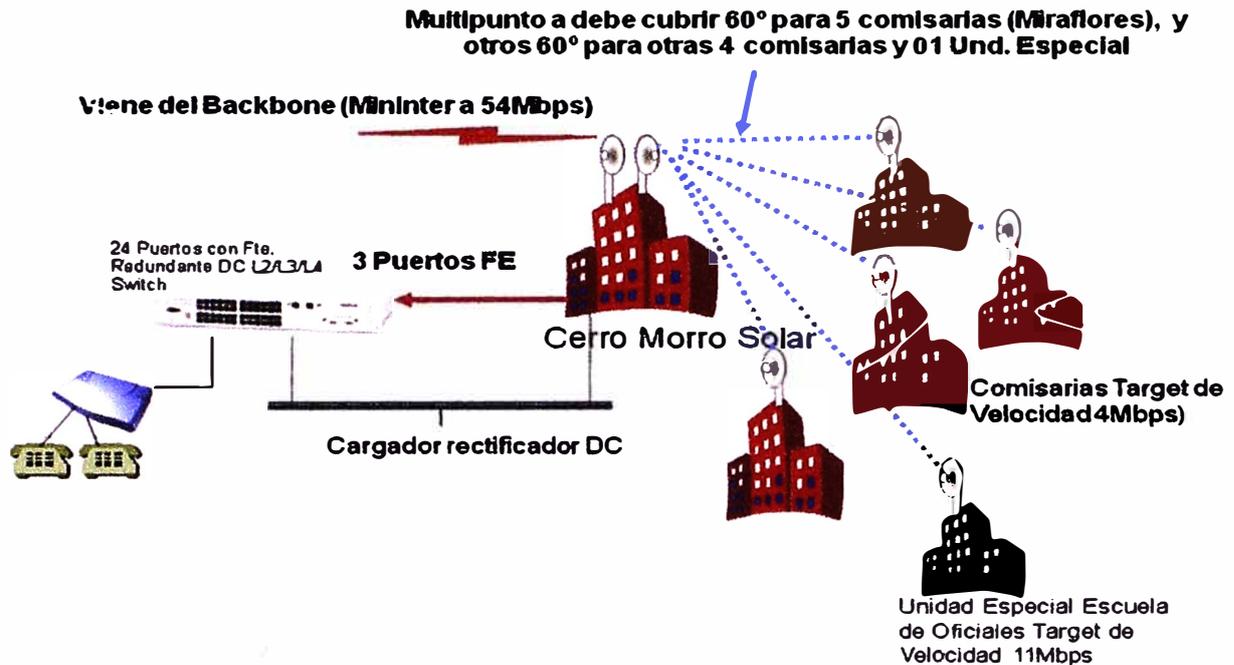
Fig. 3.3 Enlaces de mayor cobertura

La figura 3.4, representa los enlaces de Punto a Multipunto de las Unidades PNP.

La Banda de Frecuencias que utilizará este Sistema de Comunicaciones estará comprendida de 27 a 31 GHz. Estos enlaces dedicados de alta velocidad entre nodos de alta densidad son menos costosos que una red cableada.

3.7 Elección del Equipo a utilizarse

En la actualidad existe un extenso número de equipos que pueden ser utilizados para trabajar con sistemas LMDS, muchos de los cuales han sido desarrollados por fabricantes más conocidos a nivel mundial, tales como: Alcatel, Ericsson, Harris Communications, Siemens, Netro, Nortel Networks Optical, Synoptel, 3M Optical Solutions.



Generalmente, para la elección más adecuada de cualquier equipo de Telecomunicaciones se sigue los siguientes pasos:

1. Nombrar una comisión encargada del proyecto, la misma que estará conformada por personal técnico y que elaborará las bases del proyecto.
2. En base a lo anterior, llamar a un concurso de ofertas para la compra del equipo.
3. Conocer todas las características técnicas posibles del equipo que ofrece cada fabricante, inclusive solicitar presentaciones del producto.
4. Analizar las propuestas económicas de cada fabricante.
5. Seleccionar uno o varios fabricantes, basándose en los dos puntos anteriores.
6. Elección del equipo a ser instalado en el sistema LMDS.

Para la elección del sistema LMDS, propuesto para el Ministerio del Interior, se ha tomado en cuenta que éstos deberán tener como requisitos básicos los siguientes parámetros:

- ❖ Operación en la banda de frecuencia seleccionada, que será de 28 GHz;

- ❖ Tener la posibilidad de utilizar antenas sectoriales de 180°, 90°, 60°, etc.;
- ❖ Ofrecer la interconexión de las estaciones base a la red de transporte mediante interfaces estandarizadas;
- ❖ Ofrecer las interfaces necesarias para servicios a los usuarios;
- ❖ Capacidad de transmisión de información de acuerdo al volumen de tráfico a intercambiarse.

Puntos de Concentración (Cerro la Milla)

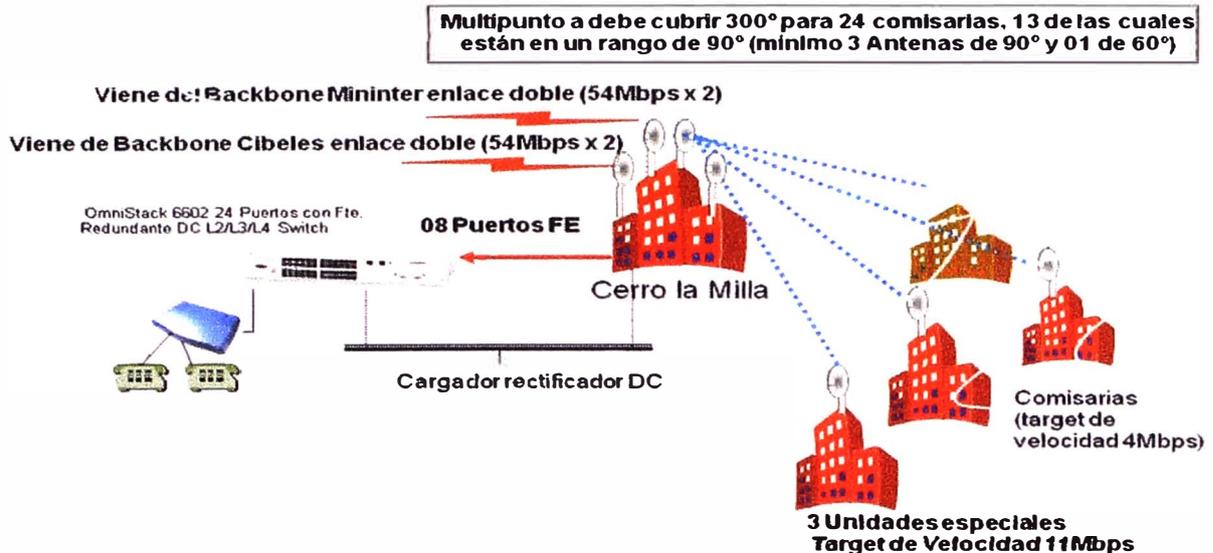


Fig. 3.5 Enlaces de concentración en Cerro La Milla

Puntos de Concentración (C° Atarjea)

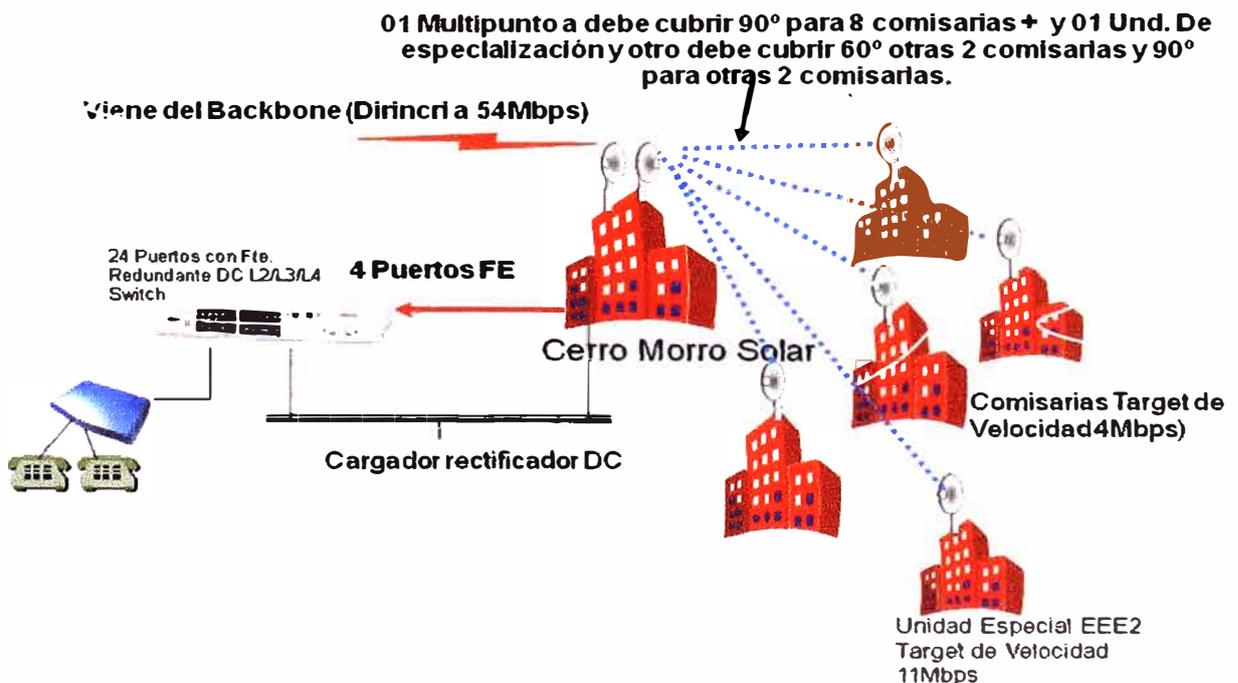
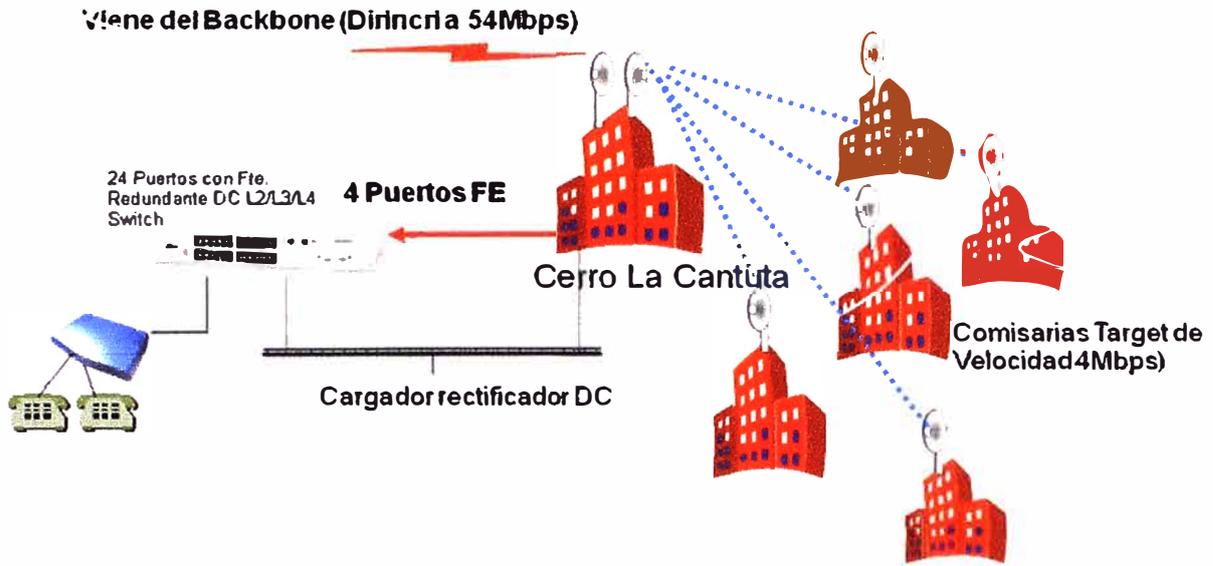


Fig. 3.6. Enlaces de Concentración – La Atarjea

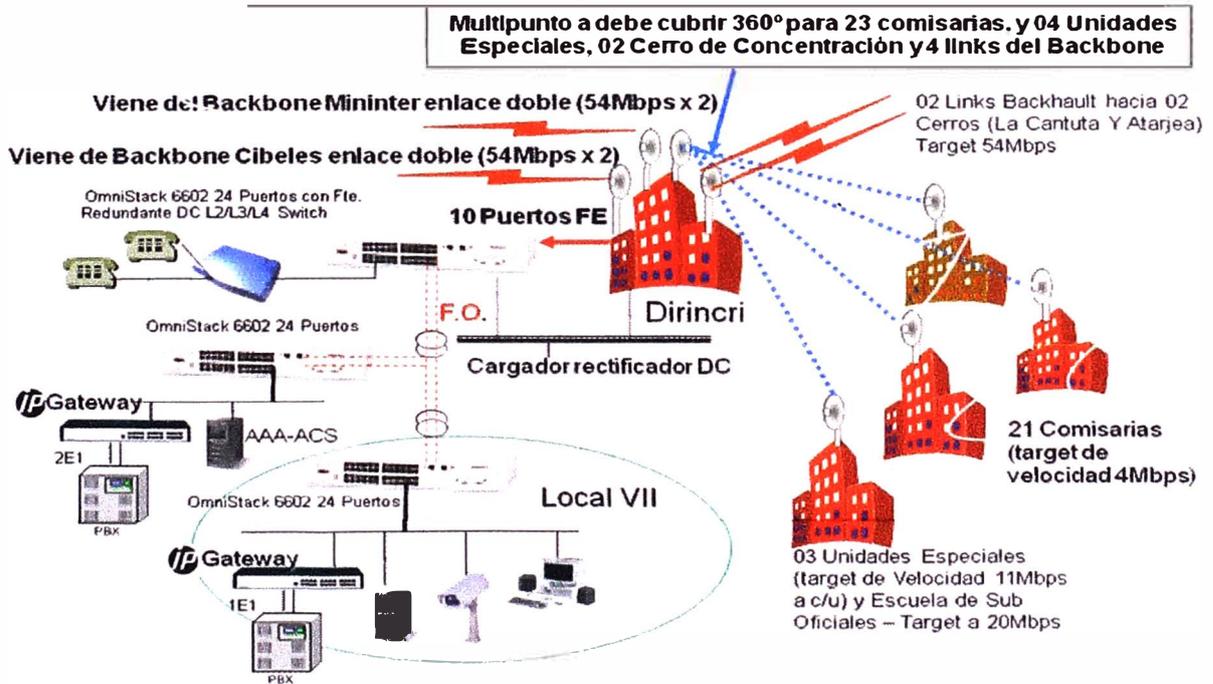
En las Figuras del 3.5 al 3.11, se muestran las diferentes aplicaciones de concentraciones Punto y Multipunto:

Puntos de Concentración (C° La Cantuta)



(a)

Puntos de Concentración (DIRINCRI - Centro de Lima)

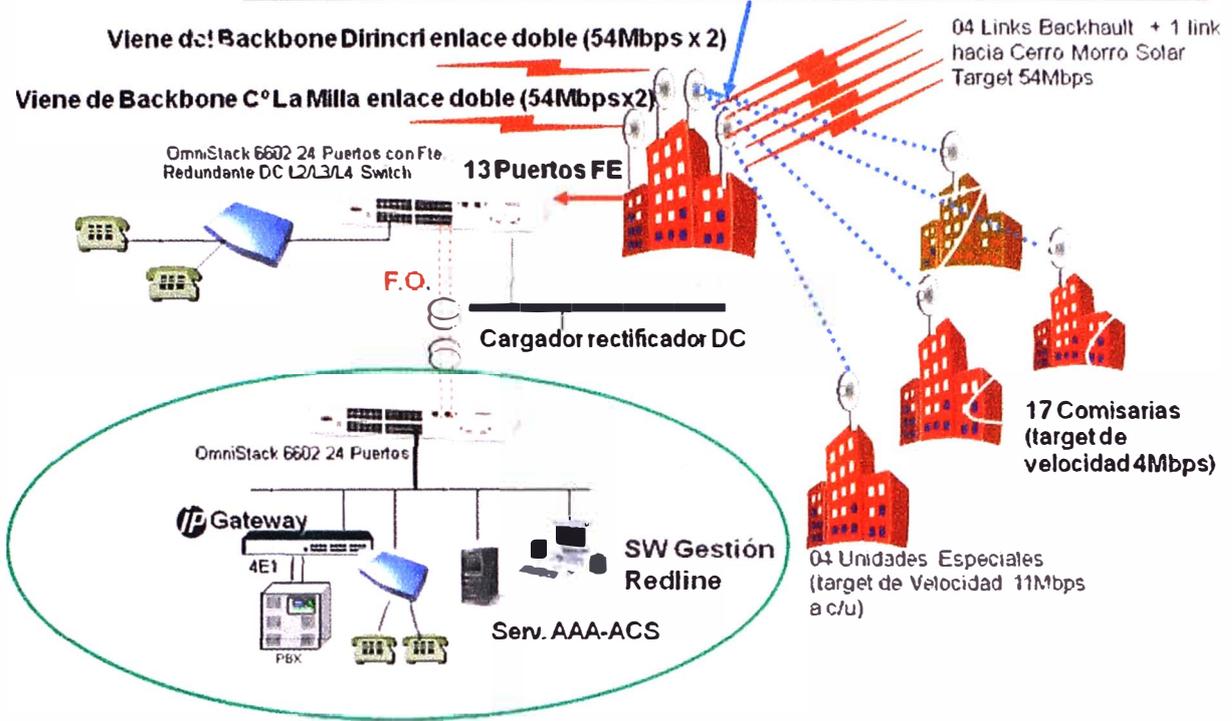


(b)

Fig. 3.7 Diferentes enlaces Punto Multipunto:
(a) Cerro la Cantuta, (b) DIRINCRI

Puntos de Concentración: MINISTERIO DEL INTERIOR

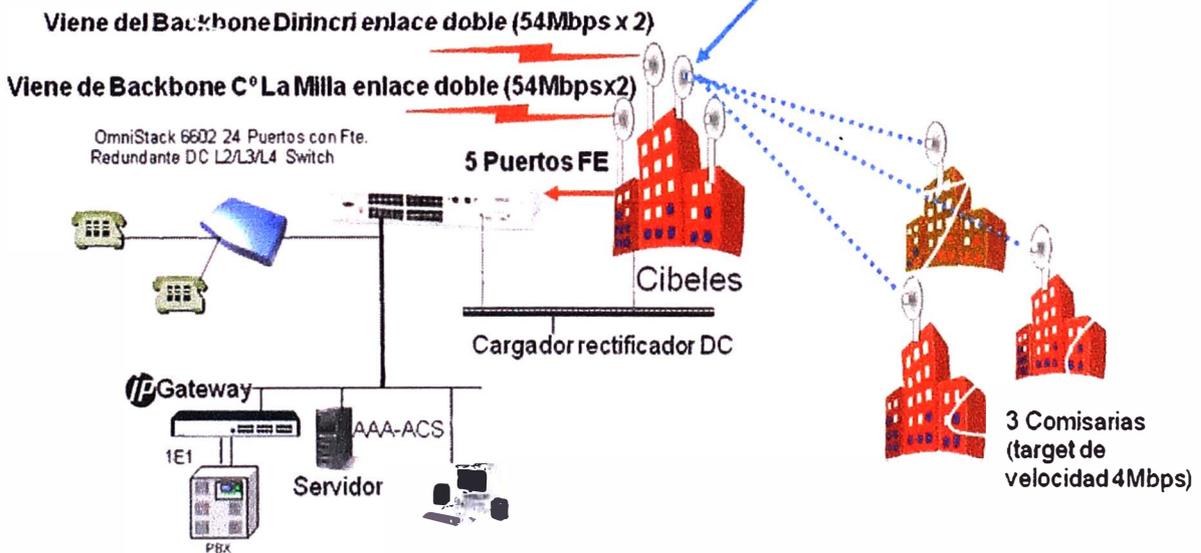
Multipunto a debe cubrir 360° para 17 comisarias, y 03 Unidades Especiales. 04 links Backhaul, 01 Cerro de Concentración y 4 links de Backbone



(a)

Puntos de Concentración (Cibeles)

Multipunto a debe cubrir 150° para 3 comisarias, 02 links doble al Backbone a 54Mbps c/u

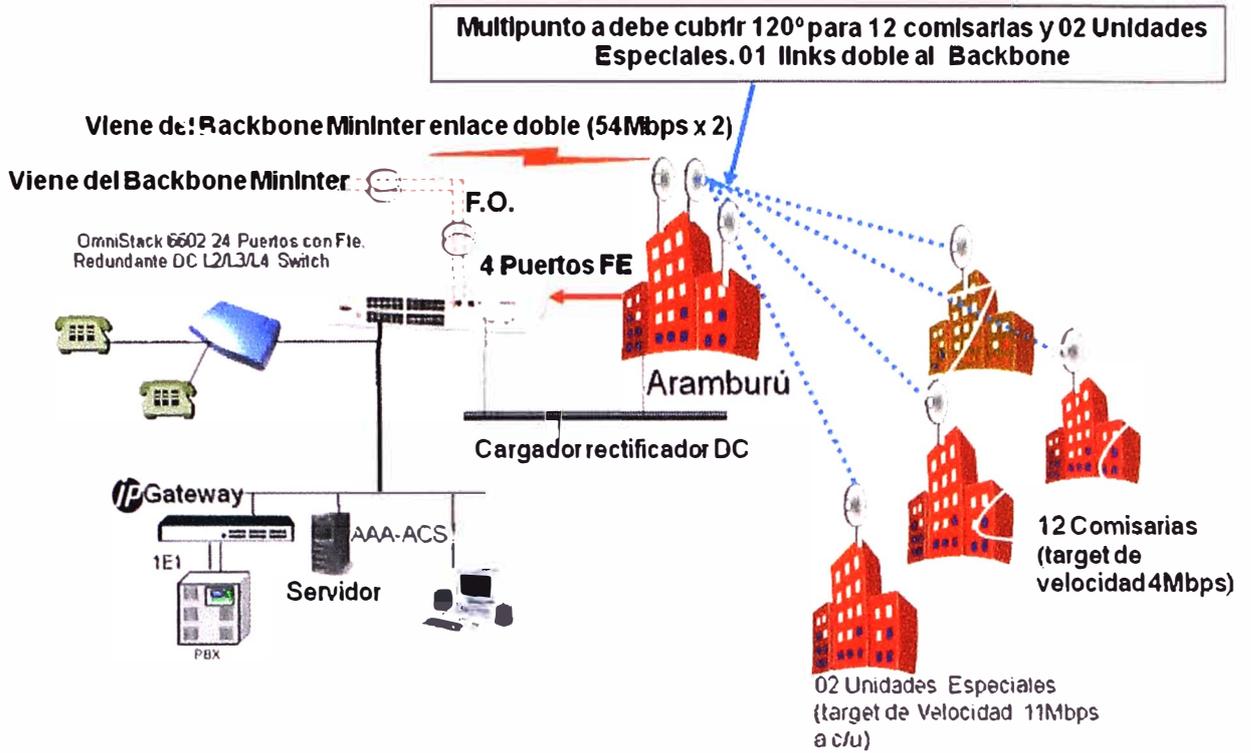


(b)

Fig. 3.8 Diferentes enlaces Multipunto a diferentes velocidades

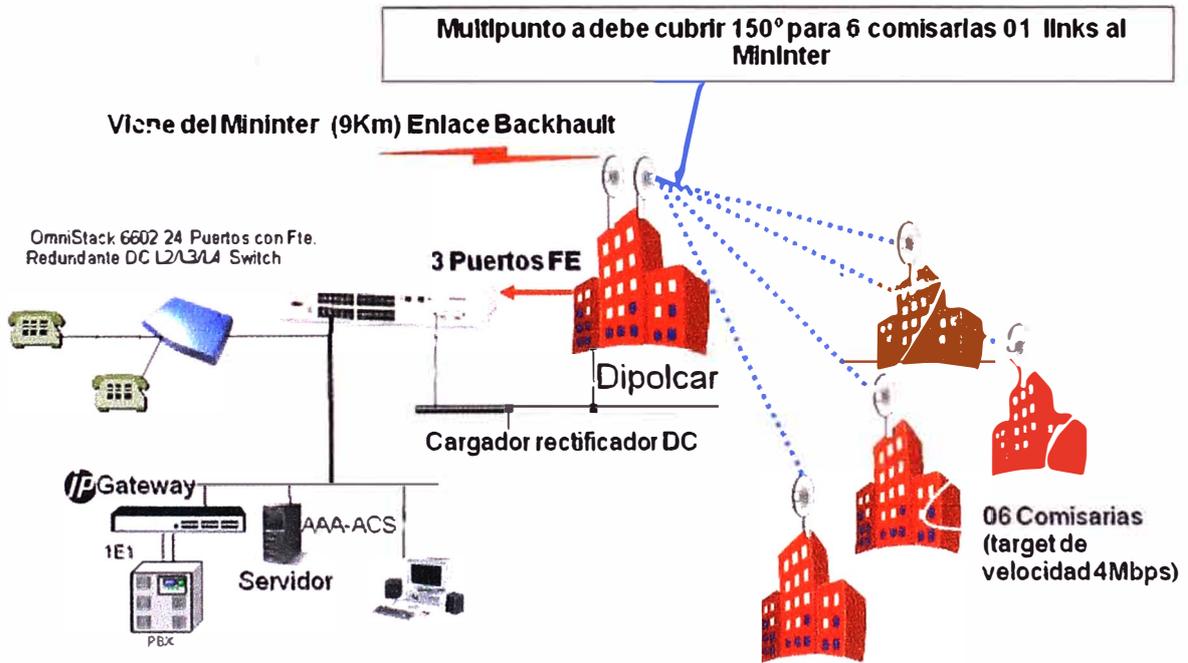
(a) Sede MININTER; (b) Los Cibeles -Rímac

Puntos de Concentración (Aramburu)



(a)

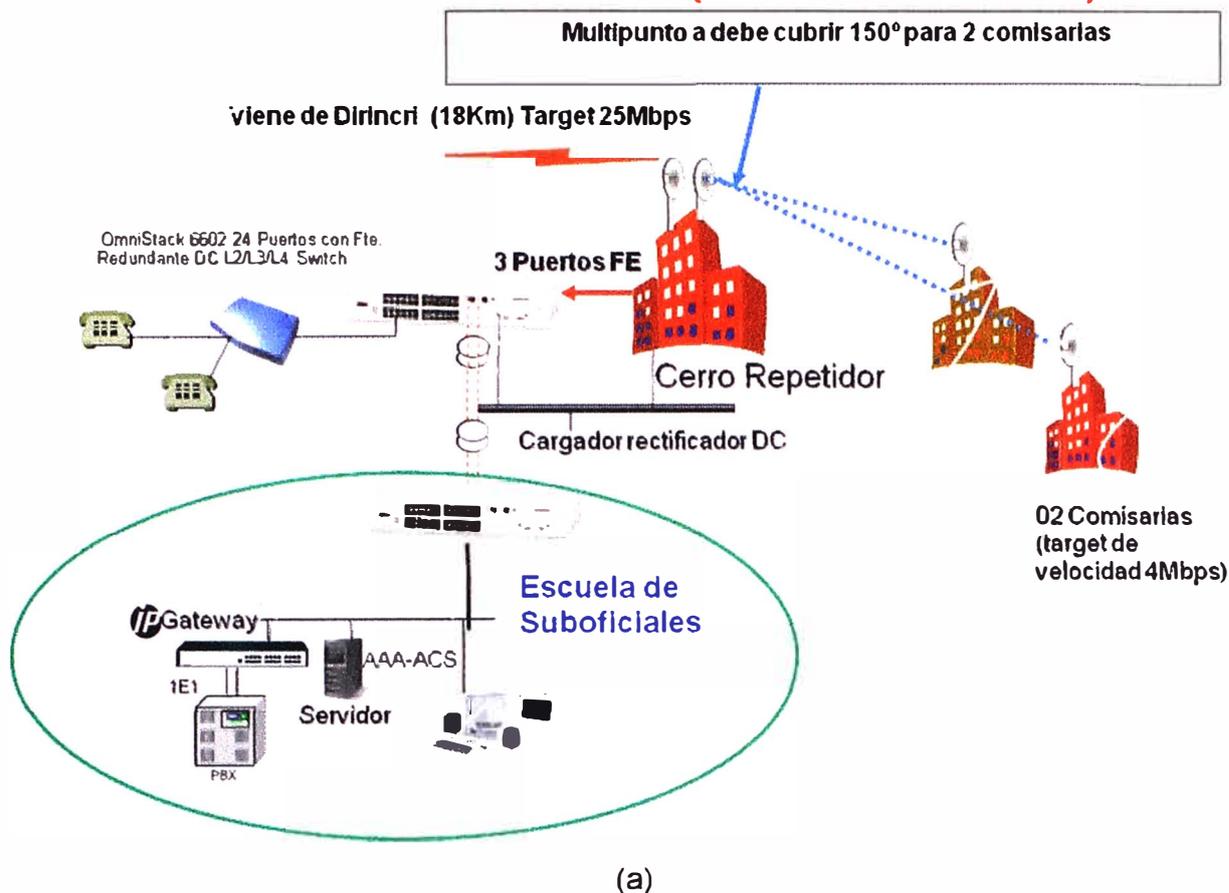
Puntos de Concentración (Dipolcar)



(b)

Fig. 3.9 Diferentes enlaces Multipunto de las Unidades Especiales
(a) Sede Aramburu; (b) DIPOLCAR

Puntos de Concentración (Esc. Sub Oficiales)



Puntos de Concentración (HC PNP)

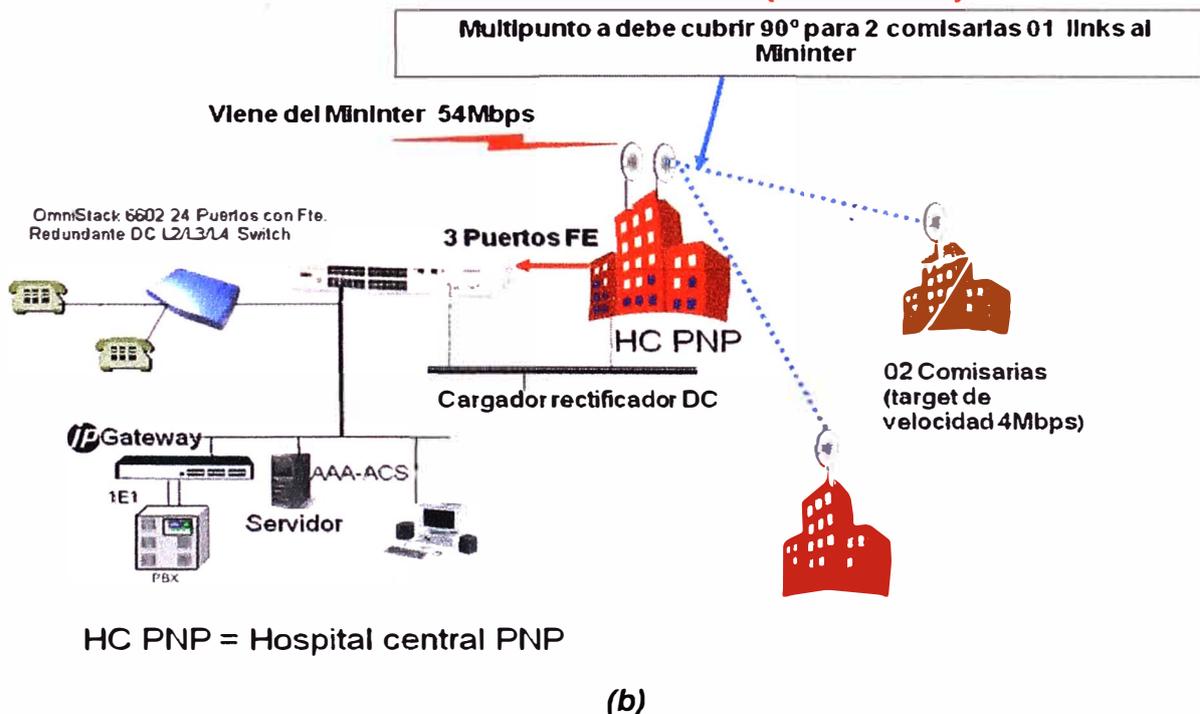
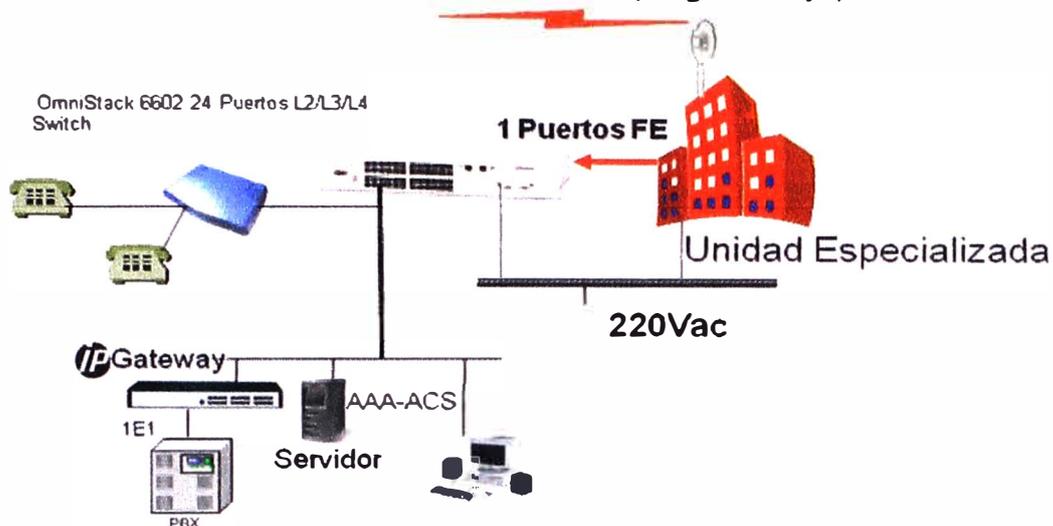


Fig. 3.10 Enlaces de Concentración
 (a) Escuela PNP; (b) Hospital Central PNP

Unidad Especializada típica

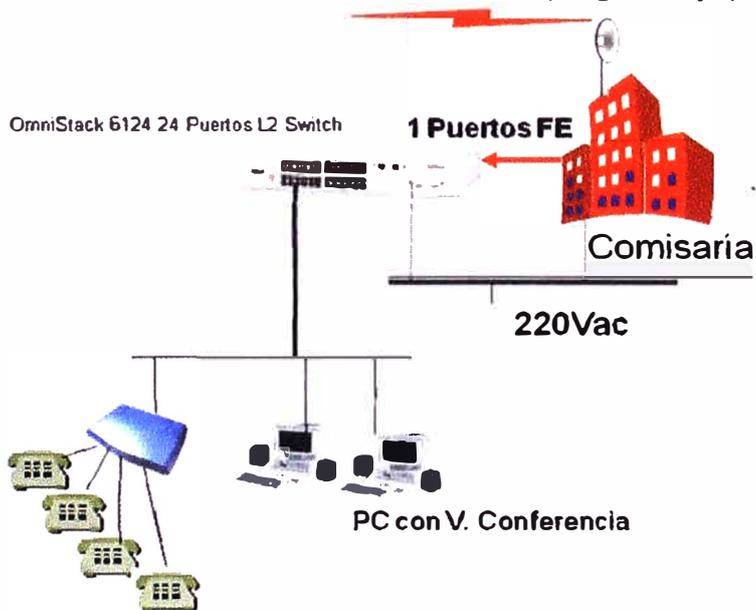
Viene de Unidad de Concentración ó Backbone (Target 11Mbps)



(a)

Comisaría típica

Viene de Unidad de Concentración ó Backbone (Target 4Mbps)



(b)

Fig. 3.11 Enlaces Típicos Multipunto
(a) Unidad Especializada; (b) Comisaría típica

3.8 Características de solución:

- **Alta Velocidad.**- enlaces de radio de 72 Mbps en el aire (puerto Ethernet de 54 Mbps) para los enlaces principales (backbone doble enlace, concentración enlace simple)
- **Gran cobertura.**- alcance en distancia entre 1 a 25 Km en puntos de acceso.
- **Alta Disponibilidad.**- Redundancia y Autonomía Energética para los puntos principales, enlaces redundantes en el backbone (seguridad y velocidad).
- **Seguridad.**- Enlaces con encriptación propia y uso de tecnología de OFDM con múltiples portadoras (48) cada una viajando independientemente. Por tanto tendrán que burlar la seguridad de c/u de las portadoras transmitidas.
- **Administración.**- Sistema de administración centralizada y por equipo con interface de acceso web.snmp, consola.
- **Facilidad de instalación.**- Equipos que no requieren líneas de vista, dependiendo de los casos. Los enlaces se pueden realizar por Reflexión, Refracción y Difracción, de la señal, cabe indicar que cuando esta condición suceda, la cantidad de información es menor al máximo (54 Mbps neto) por las trayectorias múltiples.
- **Multiservicio.**- Manejo de tráfico de datos, video y voz sobre IP.
- **Calidad de Servicio.**- cumplimiento de 802.1p de calidad de servicio, con priorizaciones según el tipo de tráfico 802.1Q de VLAN, el menor retardo del mercado (VoIP y Video oIP).
- **Eficiencia en LAN.**- están considerados el uso de conmutadores L2/ L3/ L4 para los puntos principales y conmutadores administrables con QoS para las comisarias evitando colisiones, contención de emisión y creación de VLANs mejorando la velocidad de transmisión y seguridad en cada dependencia policial.

3.8.1 Cálculo de los enlaces

Para diseñar un radioenlace, utilizaremos el software Radio Mobile, para lo cual tenemos que conocer las coordenadas- Latitud, Altitud- de los puntos involucrados, estos se pueden encontrar mediante Google Earth, el cual brinda bastante precisión dicha ubicación, en algunos casos nos permite visualizar las imágenes con bastante resolución de estos puntos.

Estos cálculos nos permiten usar la menor cantidad de repetidoras en base a las líneas de vista-1ra. Zona de Fresnel-, luego procederemos a utilizar el Radio Mobile para colocar las coordenadas y ver el perfil entre estos dos puntos y saber con exactitud si existe la primera zona de Fresnel, también se puede determinar si variaremos o no el tamaño de las antenas.

El Perú presenta tres regiones geográficas bien definidas Costa, Sierra y Selva, de las cuales, la que más dificultará los radioenlaces es la Sierra por su geografía accidentada.

La figura 3.12 muestra una red con equipos WiMax de la versión 802.16 a.

Equipos de la versión Estándar 802.16^a de WiMax

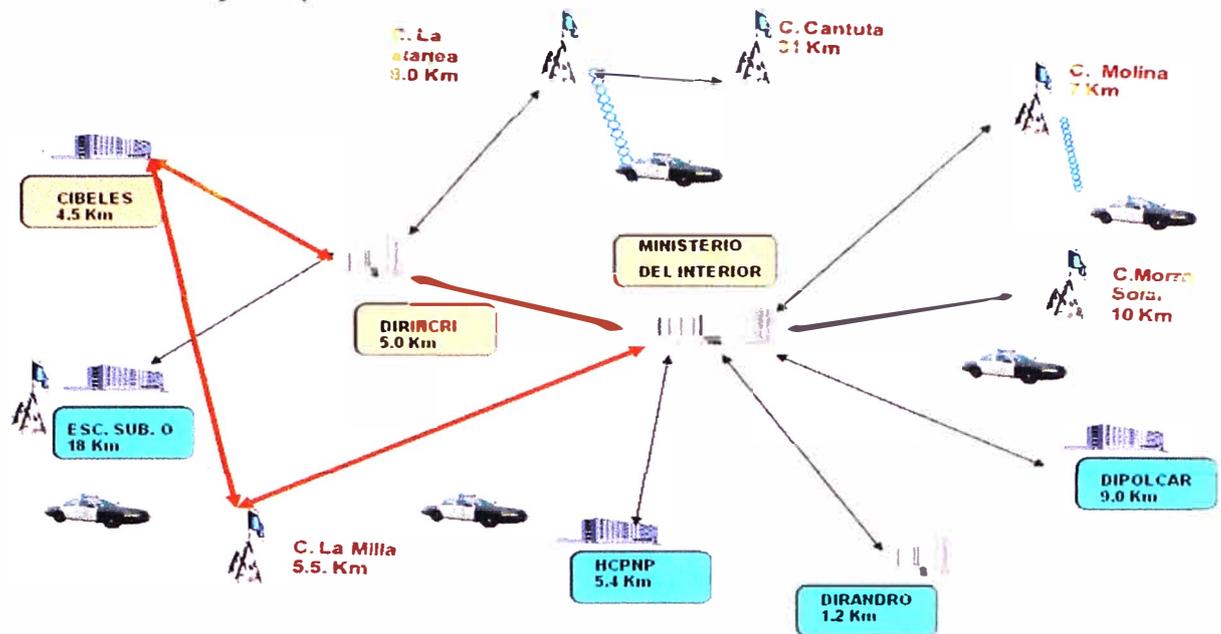


Fig. 3.12 Equipos de enlace de la versión WiMax 802.16 a.

3.8.2 Disponibilidad del Espectro y Banda de frecuencia

El Consejo Nacional de Telecomunicaciones – CONATEL, menciona tres bandas de frecuencia para operar en el sistema de acceso fijo inalámbrico LMDS, que son:

- 27,5 – 28,35 GHz.
- 29,1 – 29,25 GHz.
- 31 – 31,3 GHz.

Sobre la base de estas frecuencias, para el sistema LMDS en otros países, se podría decir que la distribución del espectro radioeléctrico que se propone en el presente informe, es de la siguiente manera:

- 5 bloques discontinuos de espectro,
- Un bloque A de 285 MHz divididos en dos sub-bloques: 27,500 – 27,645 GHz y 27,925 – 28,065 GHz.
- Un bloque B de 285 MHz divididos en dos sub-bloques: 27,645 – 27,785 GHz y 28,065 – 28,210 GHz.
- Un bloque C de 280 MHz divididos en dos sub-bloques: 27,785 – 27,925 GHz. y 28,210 – 28,350 GHz.

- Un bloque D de 150 MHz divididos en dos sub-bloques: 31 – 31,075 GHz y 31,225 – 31,300 GHz.
- Finalmente, un quinto bloque denominado E de 300 MHz dividido en Dos sub-bloques: 29,100 – 29,250 GHz y 31,075 – 31,225 GHz.

3.8.3 Capacitación en telecomunicaciones

La Capacitación del personal del Ministerio del Interior para Instalación, Mantenimiento y Reparación del Sistema de Comunicaciones Gubernamental (fibra óptica, Antenas, enlaces inalámbricos, fuentes de energía entre otros), es de vital importancia por lo que serán los indicados para realizar tales labores a lo largo de todo el país y durante le vida útil del sistema.

Al margen de la capacitación, el personal deberá estar apoyado por personal de supervisión y seguridad en telecomunicaciones.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Introducción

El sistema propuesto para el Ministerio del Interior, se basa en una solución inalámbrica con equipos de tecnología actualizada. En resumen la idea es implementar una red inalámbrica propia que permita un control absoluto de todas sus comunicaciones.

Voz IP, se refiere al sistema por el cual es posible enrutar paquetes comprimidos de voz en una red IP, dependiendo de la capacidad del sistema la calidad de una comunicación de voz entre dos puntos de esta red, es igual a la comunicación entre dos puntos de una red telefónica convencional. La ventaja está en la posibilidad de tener una comunicación telefónica permanente entre diversos puntos de esta red Voz IP ubicados en diversas zonas geográficas del área sin necesidad de contar con los servicios de una red de telefonía convencional, evitando los gastos que éstos generan. Es como mantener anexos telefónicos de una misma centralita sólo que estos podrán encontrarse a kilómetros de distancia.

Actualmente las Comisarías de Lima y Callao acceden a la información de la Red Corporativa de Voz y Data de la PNP (Sistema DATAPQL), encontrándose un gran número de dependencias policiales que no están integradas a la red, por lo que mediante este proyecto se llegaría a enlazar todas y cada una de ellas, debido a que los costos por servicios se reducirán significativamente.

La falta de acceso a este sistema por parte de las comisarías y otras Unidades Policiales así como entidades Gubernamentales se debe a los escasos de enlaces, recursos logísticos y humanos. La tecnología existente de líneas dedicadas en Lima y Callao es demasiado costosa, existiendo una red inalámbrica, similar a la de un sistema celular, con la misma que se podría lograr una óptima cobertura a Nivel Local.

4.2 Justificación

El informe se justifica por presentar un estudio de importancia para la implementación de un sistema de comunicaciones moderno y confiable para el Ministerio del Interior, que su inversión se verá recompensada con los beneficios y logros que se podrán obtener.

4.2.1 Conveniencia del informe

El presente informe, se realiza para identificar los problemas del Sistema de Comunicaciones Gubernamentales, en todas sus facetas:

- Falta de equipamiento
- Deficiencias en las comunicaciones
- Falta de Personal Técnico Especializado en la operación y mantenimiento
- Falta de Logística adecuada
- Necesidad de utilizar un nuevo sistema que sea menos oneroso y de mayor eficiencia.

Por otro lado las alternativas propuestas, permiten que los Operadores de Telecomunicaciones aumenten la capacidad de información de los sistemas de transmisión; siendo óptimos la demanda de nuevos servicios de voz, datos, acceso a Internet, televisión por cable, etc., beneficiando a la Comunidad en general.

4.2.2 Aportes

Al desarrollar este informe, el autor intenta aportar al Estado, una propuesta alternativa sugiriendo la utilización de un *Nuevo Sistema de Comunicaciones* que permita optimizar el funcionamiento de las redes de transporte, entregando más servicios en el menor tiempo y al menor costo.

Para interconectar las ciudades, se plantea el *uso de Fibra Óptica* a nivel nacional con el fin de garantizar la seguridad de las comunicaciones por un largo tiempo, la misma que deberá instalarse en tres etapas:

- 1° Etapa: Lima y Regiones
- 2° etapa: Regiones con sus Provincias
- 3° etapa: Provincias con Distritos y Centros Poblados

4.2.3 Síntesis del trabajo

El presente estudio, elabora alternativas para implementar el **Sistema de Comunicaciones Gubernamental** que entrará en funcionamiento para mejorar la Seguridad Ciudadana a nivel nacional, así como prestar servicios a otros sectores del Estado.

4.2.4 Costo:

- Bajos costos
- Infraestructura escalable basada en la demanda, cobertura y concentración de edificios.
- Bajos costos de mantenimiento, administración y operación del sistema

4.2.5 Velocidad:

- Alta velocidad por ser un sistema de banda ancha

- Habilidad para manejar múltiples puntos de acceso de alta capacidad, con tiempos de instalación reducidos sin la preocupación de obtener los derechos de instalar cableados externos
- Desde un punto de vista funcional, es capaz de prestar los mismos servicios que las tecnologías de cable, pero es mucho más barata, sencilla y rápida de desplegar.

4.2.6 Capacidad:

- Velocidades de acceso de hasta 10 Mbps
- Redistribución del ancho de banda entre clientes a tiempo real
- Plataforma multiservicios
- Alta confiabilidad
- Simetría o asimetría

4.2.7 Desventajas:

- Necesidad de línea de vista
- Alcance limitado
- Tecnología nueva

4.2.8 Aplicaciones:

- TV multicanal por suscripción
- Interconectividad de redes LAN
- Videoconferencia (IP o ISDN)
- Frame Relay
- Circuitos de Data dedicados (E1/T1, nX64)
- ASP
- ISP
- Telefonía fija convencional (POTS)

4.3 Comparación con otras tecnologías

La Tabla 4.1, muestra una comparación de LMDS con otros sistemas:

Tabla 4.1 Comparación del sistema LMDS con otros sistemas

Tamaño del archivo	Dial-up 48 Kbps	ADSL 256 Kbps	LMDS 8 Mbps
2 Megabytes	7 mins.	1.3 mins.	3 seg.
10	35 mins.	6.5 mins.	13 seg.
140	8.1 horas	1.5 horas	3 mins.

4.4 Ventajas:

- Permite un despliegue de red más rápido y fácil

- Entrega del servicio en corto tiempo
- Servicio de ancho de banda en función de las necesidades de cada cliente
- Ancho de banda simétrico, fiable y garantizado
- Uso más eficiente de los recursos.

El sistema LMDS permite *ofrecer*, con *gran fiabilidad* y calidad de señal, prácticamente los mismos servicios que las redes de fibra óptica y cable coaxial. Es por ello que se puede denominar a esta tecnología como "las aeropistas de la información".

4.5 Calidad de servicio QoS

La calidad de servicio o fiabilidad suele medirse por medio del porcentaje de tiempo que el sistema funciona correctamente. Los valores típicos oscilan entre el 99,9 % y el 99,999 %. Para aumentar este porcentaje pueden emplearse diversas técnicas en el dominio espacial, de frecuencia o temporal y consisten en proporcionar rutas distintas para transmitir y recibir información redundante. La idea se basa en que ahora es necesario que ocurra un desvanecimiento de la señal simultáneamente en todas las posibles rutas para cortar el enlace. De este modo, suponiendo que disponemos de dos rutas diferentes con una fiabilidad o calidad de servicio del 99,9 %, la calidad resultante empleando diversidad llegaría hasta el 99,9999 %.

Adicionalmente a los efectos de bloqueo del haz, el solapamiento entre celdas o la redundancia del sistema también afectan a la calidad de servicio. El solapamiento entre celdas es un factor de diseño importante de tal forma que se garantice que un abonado situado cerca del borde de la celda pueda recibir servicio de múltiples direcciones.

Un valor típico de solapamiento es el 15 %, el cual puede variar dependiendo de la densidad de población y de la obstrucción causada por grandes edificios. Finalmente, para minimizar el tiempo de caída del sistema en caso de fallo o degradación del equipamiento, pueden utilizarse transmisores, receptores y antenas de reserva (redundancia de equipos).

Cuando el sistema de gestión detecta un fallo en un determinado equipo se conmuta al equipo de reserva en unos pocos microsegundos. Los transmisores y receptores digitales de banda ancha poseen tarjetas de monitorización cuya función es medir parámetros tales como potencia de salida, temperatura, frecuencia del oscilador local, etc.

4.6 Balance Oferta Demanda

Como el proyecto está compuesto de un sistema que solamente se requiere equipamiento y no se invertirá mensualmente en servicios, la sustitución de sistemas que a la fecha se encuentran presupuestados será transferida a la adquisición de los equipos

4.7 Costos en la situación "Sin Proyecto"

Los costos en la situación sin proyecto son los generados por los conceptos de:

- Servicios de telefonía fija y móvil
- Internet, IP/VPN
- Costos anuales del personal
- Costo de energía eléctrica
- Repuestos
- Alquileres y
- Otros insumos

4.8 Beneficiario en la situación “Con Proyecto”

Los beneficios del uso del sistema LMDS, se reflejarán en un considerable ahorro económico por los servicios que se dejarán de pagar; por lo que la Institución cumplirá eficientemente sus funciones operativas y administrativas.

4.8.1 Beneficios Incrementales

Con la implementación del presente proyecto, las Unidades Policiales, podrán tener acceso a la consulta *ON LINE*, a la base de datos e intercambio de información, datos, telefonía y video Conferencia. Integrándose a la red corporativa de la PNP.

4.8.2 Evaluación social

La implementación del proyecto tiene como fin mejorar el servicio policial y potenciar los diferentes servicios de Telecomunicaciones de la PNP.

4.8.3 Análisis de Sensibilidad

Este proyecto ha sido diseñado para cubrir la actual demanda de servicios de Telecomunicaciones de las Unidades PNP a nivel nacional y disminuir gastos por servicios de telefonía y transporte de información, rubro que el Ministerio del Interior viene pagando a las operadoras privadas en cantidades bastante significativas que merman el presupuesto que debería destinarse a seguridad ciudadana.

4.8.4 Sostenibilidad

Para poder atender la demanda de las Unidades Policiales de Lima y Callao, se procede a definir los recursos necesarios para la ejecución del presente proyecto de inversión.

4.8.5 Recursos Humanos

Para la ejecución del presente proyecto se capacitara al personal PNP, en el área de Telecomunicaciones e Informática de acuerdo al Plan especificado en el Capítulo III especializado en el área de informática y telecomunicaciones, personal de las unidades operativas donde se implementarán los servicios, así como personal técnico de las empresas proveedoras de los equipos.

4.8.6 Recursos Físicos

La División de Telecomunicaciones PNP, cuenta con un almacén en la sede del Ministerio del Interior en el que se dejarán temporalmente los equipos adquiridos mientras

se procede a su distribución e instalación respectiva. La adquisición se hará acorde al Plan de Desarrollo Institucional 2011 al 2021.

4.8.7 Asesoramiento técnico

La División de Telecomunicaciones en coordinación con la División de informática PNP, como Sub-Unidades especializadas en Telecomunicaciones e Informática para la transmisión de voz y datos, cuenta con Personal PNP altamente calificado y especializado en dichas ramas, los mismos que se encuentran en capacidad de brindar el asesoramiento técnico necesario para la ejecución del presente proyecto, asimismo se prevé el asesoramiento técnico del personal de las empresas proveedoras los mismos que brindarán capacitación al personal de operación y mantenimiento.

4.8.8 Impacto Ambiental

El impacto ambiental se verá reflejado en la sensación de seguridad de la sociedad, en vista que la PNP contará con herramientas tecnológicas para combatir la delincuencia, disminuyéndose detenciones indebidas (casos de homonimia, actualización de requisitorias), entre otros casos.

4.8.9 Selección de Alternativas

De las alternativas presentadas, solo existe una conveniente para la PNP (adquisición de equipos y periféricos), no es posible efectuar la metodología costo de efectividad.

4.8.10 Clasificación de los equipos terminales

- **Ruteador.-** Interface LAN Y WAN. Sirve para la interconexión de redes LAN
- **PABX o Conmutador.-** Para servicios telefónicos, tiene cierto número de troncales y de extensiones.
- **Videocodec.-** Para servicios de video conferencias.
- **FRAD (Frame Relay Acces Device).-** Tiene tarjetas para manejar varios servicios: voz y datos, encapsula toda la información en tramas (Paquetes) de Frame Relay. Manejan dinámicamente el ancho de Banda.
- **Multiplexores.-** Tienen tarjetas para manejar varios servicios de voz y datos. Asigna cierto ancho de banda del disponible a cada uno de los servicios. Funcionan con técnica TDM, lo que quiere decir que la asignación del ancho de banda es fija y no dinámica.

CAPITULO V
PROPUESTA ECONOMICA APROXIMADA

La determinación de los costos y gastos que intervienen en la implementación del **sistema de comunicaciones gubernamental, LMDS**, son referenciales y se han tomado en cuenta de la lista de precios de un solo fabricante. La Tabla 5.1, indica los costos de los equipos LMDS para Lima y Callao.

Tabla 5.1 Costos de Equipos LMDS

CANT	NOMBRE	FUNCION	FABRIC.	P. UNIT USD	P. TOTAL USD
E S T A C I O N B A S E					
05	Hub (RN + R-AAS)	Estación de Radio + Estación Base Digital	ERICSON	75.000	375.000
01		Concentrador de Tráfico	ERICSON	6.500	6.500
05	ET - 155 Interfase	Interfases de Red	ERICSON	4.500	22.500
05	Para Alimentación Hub	Fuentes de Energía para Hubs	ERICSON	5.100	25.500
05	Gabinetes para Hub	Armarios para Hubs	ERICSON	5.100	25.500
E S T A C I O N E S T E R M I N A L E S					
75	AT Network Terminación	Terminales de Red Amplias	ERICSON	7.500	562.500
150	AT Network Terminal medio	Terminales de Red Medianas	ERICSON	5.800	870.000
240	AT Radio Terminal	Terminaciones de Radio	ERICSON	2.500	600.000
600	Splitters	Divisores de Potencia	ERICSON	30	18.000
A D M I N I S T R A C I Ó N L M D S					
01	CP Medio	Procesador Central	ERICSON	9.000	9.000
01	O & M	Sistema de Administrador LMDS	ERICSON	52.000	52.000
C O S T O T O T A L E Q U I P O S U S D					2'566.500

Además de estos costos, se debe incluir otros conceptos, tales como:

- Torres para Antena de 25 y 30 metros
- Sistemas de puesta a tierra
- Alquileres
- Personal para Operación y Mantenimiento (Tabla 5.2)

Tabla 5.2 Costos de Personal de Operación y Mantenimiento

Personal	Cantidad	Sueldo USD	Sueldo Anual USD
Ingeniero Supervisor	01	3.500	42.000
Ingeniero	06	2.500	180.000
Técnico	15	800	144.000
Total Personal USD			266.000

En la Tabla 5.3, se indica los conceptos de Costo de Torres para Antenas y Sistemas de Puesta a tierra anual.

Tabla 5.3 Tabla de costos Fijos anual

Fijos	Cantidad	Unitario USD	Anual USD
Mantenimiento	2	2.000	48.000
Alquiler de Sites + Energía	30	700	21.000
Torres + P. a Tierra	30	10.000	300.000
Sub Total Costos Fijos			369.000

TOTAL GENERAL USD: 3´ 201.500, Monto para Lima y Callao.

Para el resto de ciudades del país, se seguirá un Plan de inversión anual.

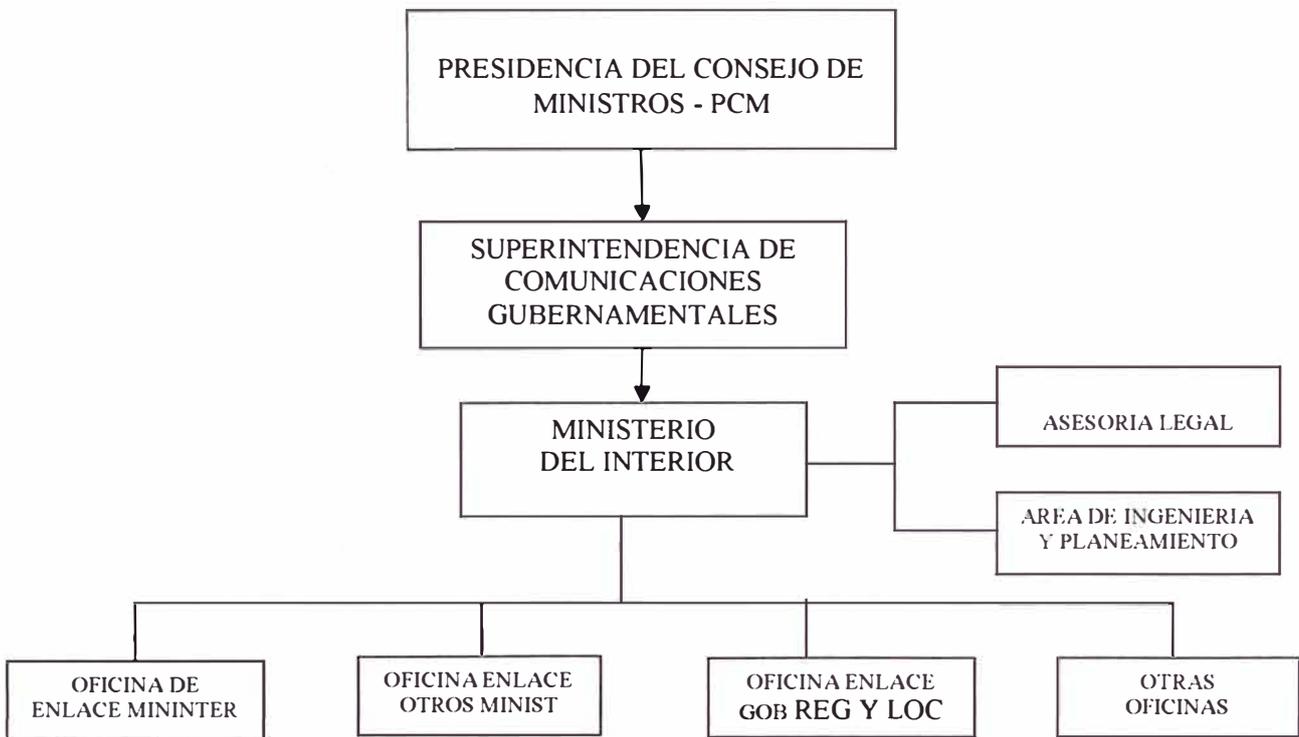
El costo de la fibra óptica en todo su recorrido a nivel nacional tendrá un valor aproximado de **600 Millones de Dólares Americanos**, Monto que será asumido por las Operadoras Concesionarias quienes mediante Convenio con el Ministerio del Interior, se podrá disponer del uso exclusivo de uno o dos hilos ópticos para el tráfico de sus informaciones.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La infraestructura de una red de telecomunicaciones, se divide en: Red de conmutación y transporte y red interna de usuario, ambos están conectados mediante la red de acceso. Cada una de estas redes tienen funciones específicas diferentes, pero solo su interconexión permite una comunicación extremo a extremo.
2. La red de conmutación y transporte efectúa las funciones básicas de la red de larga distancia como multiplexación, tarificación, mantenimiento y las funciones que su propio nombre indica, soporta altas capacidades de transmisión. En tanto la red interna de usuario es aquella que permite interconectar los diversos requerimientos que los usuarios demandan donde la capacidad es menor que la red de transporte.
3. La red de acceso, es aquella que comprende los elementos tecnológicos que soportan los enlaces de telecomunicaciones entre los usuarios finales y el último nodo de la red, también se le denomina bucle de abonado o simplemente la última milla; es decir, es la que realiza la conexión entre la red de transporte y la red interna de usuario.
4. En el mercado actual, las redes de acceso abarcan un amplio espectro del mercado, van desde las alámbricas hasta inalámbricas, las mismas que pueden aplicarse para superar "la última milla".
5. Para el estudio de implementación de la red, se ha utilizado el criterio técnico de la existencia de líneas de vista directa entre la Estación Base y los potenciales usuarios, debido a que los haces de onda a tan alta frecuencia son muy directivos, también se consideró la demanda de los servicios a ofrecer y el equipamiento a instalarse.
6. En cuanto al tamaño de las celdas que cubrirán una determinada área, éste depende de la topografía del terreno, el número de usuarios, la frecuencia de operación del sistema, el nivel de confiabilidad del enlace, las zonas de lluvia, el tipo y tamaño de las antenas. Se estima el tamaño de las celdas para la Costa en 5 Km de radio, Sierra 3 Km y Selva de 1.5 a 2.0 Km. para 28GHz y obtener una confiabilidad de 99,995 %.
7. En vista que en el Perú, el uso del sistema MLDS, no se encuentra reglamentado, se sugiere se legisle el marco legal para obtener la autorización y explotación de dicho sistema de telecomunicaciones.

8. El Sistema de Comunicaciones a implementar tiene un costo aproximado de 21 millones de Dólares, solamente en Equipos inalámbricos de enlaces, antenas e instalaciones, a parte del costo de la fibra óptica que asciende a un aproximado de 600 millones el cual será asumido por las operadoras concesionarias y mediante convenio con el Ministerio del Interior, se puede lograr el uso exclusivo de uno o dos hilos.
9. Los sistemas LMDS, surgieron con la finalidad de solventar las deficiencias de otros Sistemas de Telecomunicaciones, tales como el abaratamiento del despliegue de red en el bucle de abonado. Se basa en comunicaciones punto – multipunto entre la estación emisora y los receptores de servicio.
10. Una red simple del sistema LMDS, se encuentra conformada por múltiples estaciones terminales y una estación base Punto Central o de Concentración de las Estaciones Terminales. La estación base conjuntamente con un centro de administración, proveen las interfaces necesarias para que exista la conexión del enlace de radio con la red que servirá de transporte.
11. El Sistema LMDS, tiene un mayor espectro comparado con otros Sistemas, de manera que se le puede explotar en servicios de demanda de gran capacidad.
12. Las Antenas de las Estaciones Base pueden tener algunas opciones en sus ángulos de cobertura, por ejemplo 360°, 180°, 90°, 45°, 30°, 22.5° ó 15°, con lo cual la zona de cobertura se divide en: 1, 2, 4, 8, 12, 16 ó 24 Sectores respectivamente.
13. Para interconectar las Regiones con las Provincias, Distritos y Centros Poblados, se recomienda usar Fibra Óptica, a fin de tener una infraestructura de larga duración y muy confiable.
14. Es necesario capacitar personal del Ministerio del Interior en el área de Telecomunicaciones, quienes serán los encargados de la operación, instalación y mantenimiento del nuevo **Sistema de Comunicaciones Gubernamental**.
15. Se recomienda la reutilización de frecuencias que es una técnica para el desarrollo de redes terrestres celulares, donde se optimizan los recursos de radio tales como: Minimización de múltiples caminos a través de antenas muy direccionales.
16. Para la instalación de la Estación Base del Sistema LMDS, se deberá tener en cuenta las edificaciones de mayor altura y céntricas a la distribución de usuarios potenciales a fin de direccionar las señales eficientemente.
17. Dadas las condiciones que el Ministerio del interior no cuenta con un Sistema de Comunicaciones de libre disponibilidad, eficiente, económico y de tecnología actualizada, se recomienda a dicho Ministerio, que el presente estudio sea implementado para lograr una comunicación óptima entre sus dependencias.

ANEXO A
DIAGRAMA DE ADMINISTRACION DE LA RED DE COMUNICACIONES



ANEXO B
ACRONIMOS Y ABREVIATURAS

HFR : Redes Híbridas de Fibra Óptica y Radio

SDH : Jerarquía Digital Síncrona

SONET: Jerarquía Digital Síncrona en Norte América

DWDM: Multiplexación por División de Densidad de Longitud de Onda

CWDM: Multiplexación por División aproximada de Longitud de Onda

PMD : Dispersión del Modo de Polarización

LMDS: Servicio de Distribución de señal Multipunto Local

WLL : Bucle Local Inalámbrico

DGD : Retardo de Dispersión de Grupo

ITU-T : Unión Internacional de Telecomunicación - Para transmisión

LED : Diodo Emisor de Luz

APD : Foto Diodo de Avalancha

FDMA: Acceso Múltiple por División de Frecuencia

PDH : Jerarquía Digital Plesiócrona

ATM : Modo de Transmisión Asíncrona

HFC : Redes de Acceso Híbridas de FO y Cable Coaxial

FTTH : Fibra Óptica desde el Nodo, hasta el hogar del abonado

FDD : Duplexión por División de Frecuencia

TDD : Duplexión por División de Tiempo

LD : Laser de Emisión coherente

PIN : Fotodetector de Capa P, Intrínseco y capa N

EDFA : Amplificado de FO dopada con Erbio

ODF : Repartidor Óptico

OTDR : Reflectómetro Óptico

WDM : Multiplexación por Longitud de Onda

TDMA : Acceso Múltiple por División de Tiempo

CATV : Señal de Video de Transponder

PSP : Estado Principal de Polarización

TB : Duración de Bit

BS : Estación Base

FTTC : Fibra Óptica hasta la acera

FTTCab: Fibra Óptica hasta el armario

RDSI : ISDN, Red Digital de Servicios Integrados

MMDS : Servicio de Distribución de señal Multipunto y Multicanal

DCA : Asignación Dinámica de Canales

FCA : Asignación Fija de Canales

ANEXO C
RECOMENDACIONES ITU – T

ITU-T G.652. FIBRA MONOMODO STANDARD

PARAMETRO	VALOR
Longitud onda corte	1,18 a 1,27 μm
Diámetro del campo modal	9,3 (8 a 10) μm (tolerancia 10%)
Diámetro del revestimiento	125 μm (tolerancia 3 μm)
Recubrimiento de silicona Coating	245 μm (tolerancia 10 μm). Acrilato/UV
Error de circularidad del revestimiento	2%
Error de concentricidad del campo modal	1 μm
Atenuación	de 0,4 a 1 dB/km en 1300 nm
Atenuación	de 0,25 a 0,5 dB/km en 1550 nm
Dispersión cromática 1285-1330 nm	3,5 ps/km. nm
Dispersión cromática 1270-1340 nm	6 ps/km. nm
Dispersión cromática en 1550 nm	20 ps/km. nm

ITU-T G.653 FIBRA SM DISPERSION SHIFT

PARAMETRO	VALOR
Diámetro del campo modal	8 (7 a 8,3) μm (tolerancia 10%)
Diámetro del revestimiento	125 μm (tolerancia 3 μm)
Recubrimiento de silicona Coating	245 μm (tolerancia 10 μm)
Error de circularidad del revestimiento	2%
Error de concentricidad del campo modal	1 μm
Atenuación	inferior a 0,25 a 0,5 dB/Km en 1550 nm
Atenuación	inferior a 1 dB/Km en 1300 nm
Dispersión cromática	3,5 ps/km.nm entre 1525-1575 nm

ITU-T G.654. FIBRA SM DE MINIMA ATENUACION

PARAMETRO	VALOR
Diámetro del revestimiento	125 μm (tolerancia 3 μm)

Error de circularidad del revestimiento	2 %
Error de concentricidad del campo modal	1 μm
Recubrimiento de silicona Coating	245 μm (tolerancia 10 μm)
Atenuación	inferior a 0,15 a 0,25 dB/Km a 1550 nm
Dispersión cromática	20 ps/km.nm en 1550 nm

ITU-T G.655. SM NON ZERO DISPERSION SHIFT

PARAMETRO	VALOR
Diámetro del campo modal	8,4 μm (tolerancia 0,6 μm). Diámetro núcleo 6 μm
Diámetro del revestimiento	125 μm (tolerancia 1 μm)
Longitud de onda de corte	1260 nm
Atenuación	Desde 0,22 a 0,30 dB/Km en 1550 nm
Dispersión cromática	4,6 ps/km.nm en 1550 nm
Zona de dispersión no-nula	Desde 1540 a 1560 nm
Núcleo	6 μm

G.656: características de la FO Monomodo con dispersión desplazada no nula para Tx en Banda Ancha.

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) ha establecido una norma mundial relativa a una nueva fibra óptica, la Recomendación G.656, que facilitará a los operadores de red un mayor aprovechamiento de la anchura de banda para aumentar al máximo la eficiencia de la tecnología en sus redes básicas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]** IT Papers: www.adslforum.com
- [2]** ADSL Forum: www.adslforum.com
- [3]** Remote Access Networks: Pstn, isdn, Internet and Wireless
Mc-grawHill Series y Computer Communications 1998
Chandar Dhawan
- [4]** ITU-T: www.itu.org
- [5]** TOMASI WAYNE, "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas", Prentice Hall,
México 1998.
- [6]** Telcordia Technologies: www.telcordia.com
- [7]** Embratel : www.embratel.com.br
- [8]** Evolutions LMDS – A9900 – Technical Descriptions – Alcatel 2000
- [9]** Pairgain: www.pairgain.com
- [10]** Net to Net: www.nettonet.com
- [11]** B. Li, Qin and Ch. Lim, "ASurvey on Mobile WiMAX", IEEE Communicatrions
Magazine, December 2007.
- [12]** Andrews, A. Ghosh, "Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband
Wireless Networking", chapter 2, Prentice Hall, 2007.
- [13]** Chen Kwang-Cheng and B. de Marca Robert, "Mobile WiMAX", chapter 2, John
Wiley & Sons, 2008.
- [14]** Paul Piggini, "Emerging Mobile WiMAX Antenna Technologies", IEEE
Communications Engineer, Volume4, Issue 5, October-November 2006, page(s):
29-33.
- [15]** Helmut Bölcskei, "MIMO-OFDM WiMAX reless Systems: Basics, Perspectives, and
Challenges", ETH Zurich, IEEE Wireless Communications, volume 13, issue 4,
August 2006, page(s): 31-37.