

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS ENTRE UN ENLACE DE CABLE DE FIBRA ÓPTICA SUBMARINA
Y UN ENLACE SATELITAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

HÉCTOR ROLANDO LÓPEZ MORALES

ASESORADO POR ING. JUAN DAVID ALVARADO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

Guatemala, mayo de 2004

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
08
T(5721)

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VICAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

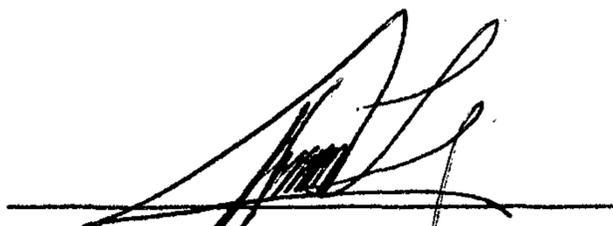
DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez García de Loukota
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
SECRETARIA	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS ENTRE UN ENLACE DE CABLE DE FIBRA ÓPTICA SUBMARINA Y UN ENLACE SATELITAL

Tema que fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha de 3 de abril de 2003. Ref. EIME. 47. 2003.



Héctor Rolando López Morales

Guatemala, 5 de Marzo de 2004

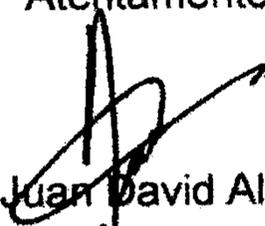
Ingeniero
Julio Cesar Solares
Coordinador Área Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Ingeniero Solares:

Por éste medio estoy informándole que he revisado el trabajo de graduación titulado: ANÁLISIS ENTRE UN ENLACE DE CABLE DE FIBRA ÓPTICA SUBMARINA Y UN ENLACE SATELITAL, elaborado por el estudiante Héctor Rolando López Morales.

El mencionado trabajo llena los requisitos necesarios para dar mi aprobación, e indicarle que el autor y mi persona somos responsable por el contenido y conclusiones de la misma.

Atentamente,



Ing. Juan David Alvarado
Asesor
Colegiado No. 5593



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 19 de abril 2004.

Señor Director
Ing. Enríque Edmundo Ruiz Carballo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: **Análisis entre un enlace de cable de Fibra óptica Submarina y un Enlace Satelital**, desarrollado por el estudiante Héctor Rolando López Morales por considerar que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador Area de Electrónica

JCSP/mro

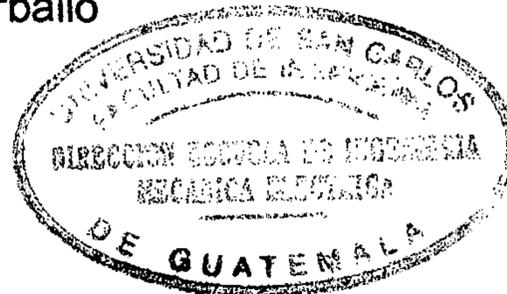


FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de Graduación del estudiante: Héctor Rolando López Morales titulado: **Análisis entre un enlace de cable de Fibra óptica Submarina y un Enlace Satelital**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

DIRECTOR

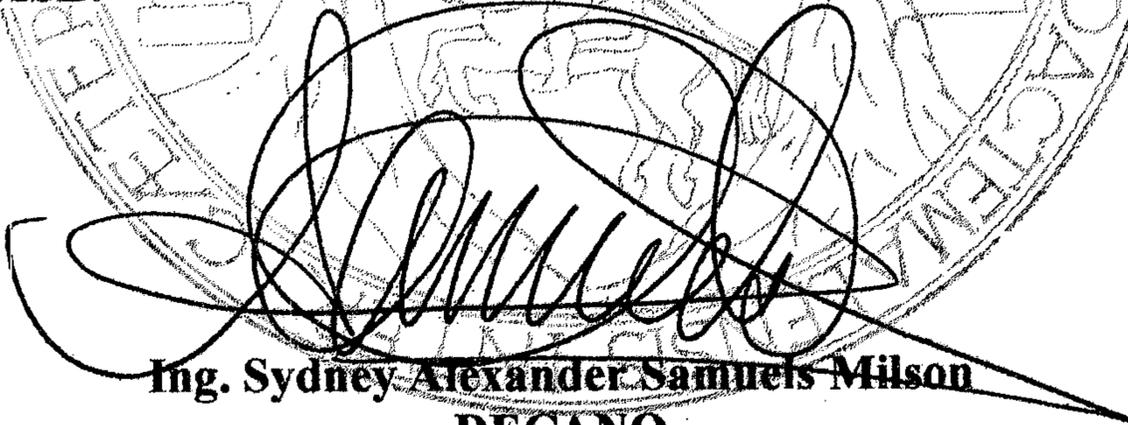


Guatemala, 5 mayo de 2,004.

Ref. DTG-163-2004

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Coordinador de la Carrera de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS ENTRE UN ENLACE DE CABLE DE FIBRA ÓPTICA SUBMARINA Y UN ENLACE SATELITAL**, presentado por el estudiante universitario, **Héctor Rolando López Morales**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
DECANO

Guatemala, mayo 14 de 2004

/lmcb.



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de San
Carlos de Guatemala

Por ser el medio que hizo posible
la meta de llegar a ser un
profesional.

Al claustro de catedráticos
de la Escuela de Ingeniería
de Mecánica Eléctrica

Por su dedicación en la
enseñanza y apoyo hacia mi
persona y formación profesional.

A mis familiares, amigos y
maestros

Porque siempre me han dado su
apoyo incondicionalmente.

DEDICATORIA

A Dios

“Nunca tanto como hoy día,
progreso de la ciencia, el universo
manifiesta al hombre la grandeza
y hermosura de Dios.”
Salmo 8:1

A MIS PADRES

Héctor Arnulfo López Coronado
María Cristina Morales Salazar

A MIS HERMANAS

Sandra Verónica y Aura Leticia

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IV
GLOSARIO.....	V
RESUMEN.....	IX
OBJETIVOS.....	X
INTRODUCCIÓN.....	XII

1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN CONEXIONES POR FIBRA ÓPTICA

1.1. Tipos de fibras y sus características.....	3
1.2. Fibras utilizadas en conexiones submarinas.....	6
1.3. Equipo necesario.....	9
1.4. Tipos de forros usados en aguas salinas.....	11
1.5. Conectores especiales.....	13
1.6. Métodos de transmisión.....	15
1.7. Aplicaciones en el mercado.....	18
1.7.1. Internet.....	19
1.7.2. Video conferencias.....	19
1.7.3. Telefonía internacional.....	20
1.7.4. Transmisión de datos.....	20
1.7.5. Arquitectura de red de la fibra óptica.....	21

2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN ENLACES SATELITALES

2.1. Tipos de satélites.....	29
2.2. Capacidades de los satélites.....	31

2.3.	Equipos necesarios.....	33
2.4.	Métodos de transmisión.....	34
2.5.	Aplicaciones en el mercado.....	35
2.5.1.	Internet.....	36
2.5.2.	Telefonía internacional.....	37
2.5.3.	Transmisión de datos.....	37
2.5.4.	Arquitectura de red satelital.....	38
3.	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS DOS MÉTODOS DE TRANSMISIÓN	
3.1.	Velocidades de transmisión de cada medio.....	41
3.2.	Capacidad de procesamiento de datos de cada medio.....	42
3.3.	Ancho de banda.....	43
3.4.	Análisis en sus aplicaciones para futuro.....	44
4.	COSTOS DE UN ENLACE POR FIBRA SUBMARINA ENTRE BOCA RATÓN-PUERTO BARRIOS	
4.1.	Costos de material y equipo.....	47
4.2.	Costos de mano de obra.....	48
4.3.	Costos de capital.....	50
5.	COSTOS DE UN ENLACE SATELITAL ENTRE BOCA RATÓN-PUERTO BARRIOS	
5.1.	Costos de material y equipo.....	51
5.2.	Costos de mano de obra.....	52
5.3.	Costos de capital.....	53

6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS

6.1. Análisis comparativo del capital.....	55
6.2. Análisis comparativo de los servicios que se van a prestar.....	56
6.3. Análisis comparativo en torno a la distancia del enlace.....	57
CONCLUSIONES.....	58
RECOMENDACIONES.....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	60

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Típico diámetro externo y diámetro del núcleo para dos fibras comunes multimodo y monomodo.....	4
2	Conector Millennia.....	15
3	Transmisión WDM con filtro dicróico.....	17
4	Modelo de red óptica basado en dos capas.....	21
5	Desarrollos de la tecnología de red basada en IP.....	24
6	Orbitas de un satélite.....	30
7	Diagrama equipo necesario en un enlace satelital modelo de bajada del satélite.....	34
8	Diagrama equipo necesario en un enlace satelital modelo de subida del satélite.....	34
9	Tendencia de la fibra óptica en DWDM.....	45

TABLAS

I	Parámetros típicos de la fibra amplia de campo del medio (LMF).....	7
II	Parámetros típicos de la fibra de alta dispersión alternada (HDF).....	8
III	Parámetros típicos de la fibra sin dispersión alternada (NDSF).....	8
IV	Aplicaciones y características de conectores.....	14
V	Costos de material y equipo.....	48
VI	Costos de equipo.....	52
VII	Costos de mano de obra.....	52
VIII	Proveedores de ISP banda ancha en fibra óptica.....	56
IX	Proveedores de ISP banda ancha satelital.....	57

GLOSARIO

ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i> , modo de transferencia asincrona, transferencia de voz datos y video mediante celdas.
DSF	<i>Dispersión-Shifted Fiber</i> , "fibra de dispersión, dispersa".
DWDM	<i>Dense Wave Division Multiplexing</i> , densa multiplexación por división de longitud de onda, uso de la 3ª ventana de la fibra.
FCC	<i>Federal Communications Comisión</i> , Comisión Federal de Comunicaciones de USA.
FOT's	Terminales de fibra óptica.
GEF	<i>Gain Equalizer Filtres</i> , filtros de ganancia de ecualización, usadas en tramos submarinos.
GEU	<i>Gain Equalizer Units</i> , unidades de ecualizador de ganancia, usadas en tramos submarinos.
GFF	<i>Gain Flattening Filtres</i> , filtros que nivelan ganancias, usado en largas distancias.

GFP	<i>Generic Framing Protocol</i> , protocolo de entramado genérico.
GMPLS	<i>Generalized Multiprotocol Label Switching</i> , interruptor de etiqueta multiprotocolo.
HDSF	<i>High-Dispersion Shifted Fiber</i> , fibra de alta dispersión alternada la cual tiene dispersión cromática negativa pequeña.
HPOE	Equipo óptico de alto desempeño de 10 Gb/s.
LMF	<i>Large Mode Field</i> , la fibra amplia de campo del medio usado para delimitar la degradación de la señal.
LTE	<i>Line Transmission Equipment</i> , equipo de transmisión de la línea.
LWP	<i>Long-Wave Pass</i> , filtro pasa ondas grandes, usado en transmisiones WDM.
MPLS	<i>Multiprotocol Label Switching</i> , interruptor de etiqueta multiprotocolo.
NDSF	<i>Non Dispersión-Shifted Fiber</i> , fibra sin dispersión alternada.

NZ-DSF	<i>No Zero Dispersion-Shifted Fiber</i> , fibra de dispersión no alternada.
PSCF	Fibra de núcleo de silicio puro, otra alternativa para transmisiones de dispersión positiva.
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i> , jerarquía digital sincrona de multiplexación que parte de STM-1 a la velocidad de 155.520 Kb/s y se despliega a SMT-4 (622 Mb/s) y STM-16 (2488 Mb/s).
SONET	<i>Synchronous Optical Network</i> , denominación usada en USA para la red sincrona SDH . El nivel de SONET OC-3 (Optica Carrier, transporte óptico) es equivalente al SMT-1 del ITU-T.
SWP	<i>Short-Wave Pass</i> , filtro de longitud de onda pequeña.
TLA's	Amplificador terminales de línea.
UNME	<i>Undersea Network Management Equipment</i> , equipo submarino de administración de la red.
UQJ	Unión universal rápida, usada en conexiones submarinas.

WDM

Multiplexing Wavelength Division,
multiplexación por división de longitud de onda utilizada en transmisiones en fibra óptica.

TWTA

Traveling Wave Tube Amplifier,
amplificador de tubo de onda viajera. Tienen ancho de banda de 500 MHz y amplifican varias señales simultáneas.

SSPA

Solid State Power Amplifier,
amplificadores de potencia de estado sólido. Manejan potencias reducidas con transistores de Galio-Arsénico GaAsFET. Son lineales con buena eficiencia.

Klystron

Funcionan mediante cavidades resonantes que amplifican bandas pequeñas. Son de mayor eficiencia que el TWTA.

RESUMEN

El análisis que se establece en el presente trabajo, trata sobre la capacidad de información que se va a procesar en cada medio, de las tecnologías que se están implementando para aumentar la capacidad de procesamiento y de futuras aplicaciones. Para ello, se establece como marco de referencia un enlace entre Boca Ratón (EE.UU.) y Puerto Barrios (Guatemala).

El establecimiento de una conexión por medio de fibra óptica, representa un avance tecnológico, además de que usando como base este medio, se han desarrollado muchas técnicas de transmisión, que dan como resultado un mejoramiento en las velocidades de transmisión, mediante el uso de una infraestructura constante.

El papel del satélite, como se usa actualmente, es de una alternativa de acceso a la información. Del establecimiento de una conexión a grandes distancias, sin importar el área en donde se encuentre. La tecnología satelital, también ha prosperado, sin embargo, debido a las limitaciones físicas, ha impedido que su velocidad de transmisión sea más grande.

OBJETIVOS

General

Efectuar un análisis comparativo entre dos medios de comunicación como el de un enlace de fibra óptica submarina y un enlace satelital, desde el punto de vista tecnológico y económico.

Específicos

1. Analizar las ventajas y desventajas que presenta una conexión por fibra óptica submarina.
2. Analizar las ventajas y desventajas que presenta un enlace satelital.
3. Hacer una comparación entre los dos tipos de enlace.
4. Determinar los costos que lleva hacer una conexión por medio de fibra óptica submarina.
5. Determinar los costos que implica hacer un enlace satelital.
6. Proporcionar un documento completo sobre el tema de fibras ópticas transoceánicas, debido a que hay poca información acerca de ello.

7. Proporcionar información de las nuevas tecnologías que se están implementando, para transmitir mayor cantidad de información e incrementar la utilización del ancho de banda.
8. Dar a conocer las proyecciones para el futuro de los dos medios de comunicación, en lo que respecta a velocidad de transmisión

INTRODUCCIÓN

Con la venida de primer satélite comercial, se establecieron los enlaces a grandes distancias, pero conforme aumentó de la demanda de transferencia de voz y datos a grandes velocidades, los satélites no pudieron suplirla. Con la venida del uso de cables de fibra óptica, se hizo posible cubrir esta demanda, además de establecerse como base para las futuras aplicaciones en las comunicaciones modernas.

A mediados de la década de 1990, se empezó a utilizar cables de fibras ópticas, el cable comenzó a transmitir la mayoría de las llamadas telefónicas entre Estados Unidos, Europa, Japón y Australia. Los cables, por donde pulsan paquetes de datos de Internet, conectan a más de 80 naciones y transmiten muchas más llamadas telefónicas que los satélites o los teléfonos móviles.

Ha sido beneficioso el desarrollo de sistemas de transmisión basados en la Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM), una técnica que permite transmitir simultáneamente varias longitudes de onda sobre una única fibra óptica. La fibra óptica tiene una atenuación muy baja (0.2 dB/km.) en la ventana de transmisión de 1.5 a 1.6 μm , lo cual representa un ancho de banda disponible de alrededor de 15,000 GHz, o un potencial de transmisión digital de, al menos, 5 Tb/s por fibra, equivalente a 80 millones de canales telefónicos; en comparación con un enlace satelital usando un sistema TDMA de 622 Mb/s, con una capacidad aproximada de 124,400 circuitos telefónicos.

La necesidad de transmisiones rápidas y estables ha hecho que se apliquen las transmisiones por fibra óptica, sin embargo, para ciertas circunstancias todavía se usan enlaces satelitales. Por ejemplo: la telefonía rural, Internet y programas de televisión en donde los puntos son distantes y para hacer instalaciones de cableado no son accesibles geográficamente; también en receptores móviles, tales como el GPS y telefonía celular.

El primer capítulo se enfoca en las ventajas y desventajas de uso del cable de fibra óptica, de los tipos de fibras utilizadas en los enlaces interoceánicos y de sus respectivos equipos. También sobre los métodos actuales de transmisión, su arquitectura y las aplicaciones que este medio presta.

El segundo capítulo, trata también de las ventajas y desventajas de uso del satélite como medio de transmisión, su capacidad de transmisión, método de transmisión, aplicaciones y su arquitectura.

El tercer capítulo, establece un análisis en las diferencias de los dos medios de transmisión, como lo son: su velocidad de transmisión, su capacidad de procesamiento, ancho de banda y futuras aplicaciones.

El cuarto capítulo, se enfoca en los costos que un cable de fibra óptica submarina necesita para el establecimiento de un enlace. Costo de mano de obra, material y equipo, se establece como marco de referencia la distancia entre Boca Ratón (EE.UU.) y Puerto Barrios (Guatemala).

El quinto capítulo, también se enfoca al costo de establecer un enlace por medio del satélite, del equipo necesario y mano de obra. Se usa como referencia la distancia calculada en el capítulo cuarto.

El sexto capítulo, se enfoca en el análisis comparativo de costo capital, de los servicios que se van a prestar, como en el caso de señal de banda ancha y también de la distancia del enlace.

1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN CONEXIONES POR FIBRA ÓPTICA

Se ha hablado mucho acerca de las fibras ópticas como medio de transmisión, de su capacidad de transmitir información a altas velocidades y que mediante ciertas técnicas de transmisión se puede aumentar la capacidad de información emitida sin necesidad de cambiar tipo de cable o de hacer nuevas instalaciones. También de incorporar nuevas aplicaciones en el campo de la tecnología de la información y telecomunicaciones.

A continuación, se hablará de las cualidades y los inconvenientes que se tienen al utilizar las fibras ópticas de manera cualitativa como medio de transporte digital.

Ventajas:

- **Volumen y peso:** comparándola con líneas de cobre, el volumen y el peso son menores que un cable coaxial, estas ventajas de volumen y peso se evidencian especialmente cuando se agrupan varias fibras ópticas en un cable.
- **Inmune a interferencias electromagnéticas:** como la transmisión se realiza a través de un rayo de luz, las fibras son insensibles contra los efectos de interferencia electromagnéticas en el margen de las frecuencias de radio y por debajo de ellas, por ejemplo, en centrales eléctricas.

- Ancho de banda: el ancho de banda en una fibra óptica, es mayor que el que presenta un satélite, por ejemplo se necesitan aproximadamente 17 satélites para igualar la transmisión de una sola fibra óptica.
- Carencia de señales eléctricas: con esto no se producen descargas eléctricas y no se necesita tener puestas a tierra las señales, como ocurre con las líneas de cobre.
- Tiempo de vida útil: la vida útil de la fibra óptica es mayor que la de un satélite, ya que la fibra ronda por 25 años y los satélites en 10 años.

Desventajas:

- Dificultad al reparar un cable de fibra óptica roto en el campo: ya que se necesita equipo especial para hacer las reparaciones.
- La irradiación conduce a modificar el color del material transparente de las fibras: con el tiempo y el uso empiezan a variar las cualidades con las que fueron creadas.
- Instalación rápida: comparado con un enlace satelital, la fibra requiere de una instalación de cableado para llegar al punto específico.

- Resistencia mecánica: las fibras por ser constituidos de filamentos de vidrio tienen poca resistencia de atracción, por ello se le agregan forros especiales para aumentar su resistencia mecánica.
- Alto costo de operación mensual: esto es debido al uso de equipo especial de transmisión y su mantenimiento.

1.1. Tipos de fibras y sus características

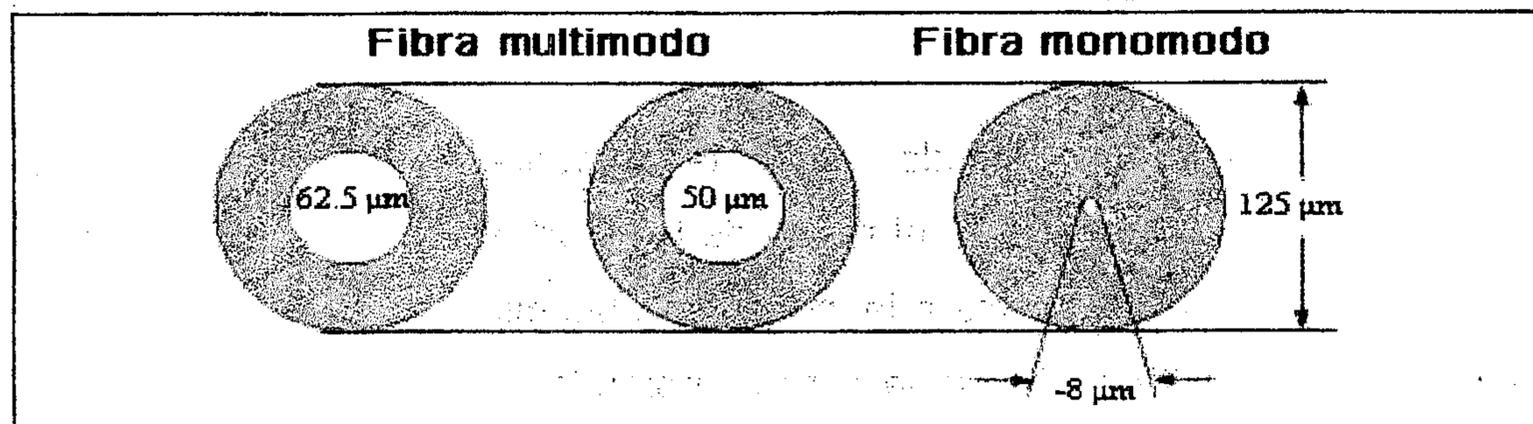
Existen dos tipos de fibras que se utilizan en el mercado, las fibras ópticas monomodo y multimodo.

La fibra óptica monomodo, si se la compara con las fibras ópticas multimodo, no tiene ventaja en el rango de longitud de onda de 850 nm, pues en ambas la dispersión del material conduce a las mismas grandes diferencias de retardo, se podría decir que la fibra monomodo es más difícil de fabricar y por su diámetro mínimo no es fácil el acoplamiento óptico. La ventaja que sí tiene, es en su mayor ancho de banda, ya que sólo tiene un único modo y, por lo tanto, desaparece la dispersión modal. Esta ventaja se aprecia cuando también se puede mantener pequeña la dispersión del material, pero la dispersión del material decrece con longitudes de ondas mayores y alcanza su mínimo con una longitud de onda alrededor de 1300 nm, un resultado de poca importancia, y se obtiene ensanchamiento de impulso de solamente 0.025 ps/nm-km.

Los retardos relativos ocasionan ensanchamiento de impulso que a una velocidad dada, conducen a confluencias de los impulsos que se hacen mayores con rutas de transmisión más largas. De ello resulta una limitación de la longitud de las fibras ópticas para la transmisión óptica.

La fibra multimodo, desarrollada comercialmente a finales de 1970 y principios de 1980, tiene un diámetro de núcleo de $50\ \mu\text{m}$, como se muestra en la figura 1. Fue usado originalmente para largas distancias y sistema *trucking* interoficinas, pero fue rápidamente desplazada por la fibra monomodo para aplicaciones de telecomunicaciones, porque este tipo de fibra presenta una baja atenuación óptica y una gran capacidad de transmisión de información.

Figura 1. Típico diámetro externo y diámetro del núcleo para dos fibras comunes multimodo y monomodo



Los términos monomodo y multimodo poseen un significado importante con respecto a la transmisión de la luz a través de la fibra óptica. Se ha definido que si la fibra óptica tiene un diámetro muy pequeño de orden de millonésimas de metro, y que en ciertas condiciones pueden implicar la utilización de un material u otro para el núcleo y la cubierta, los rayos de luz seguirán prácticamente el mismo camino a lo largo del núcleo, desde un extremo de la fibra al otro. Esta es llamada transmisión monomodo, en ella no es necesario mantener la polarización de entrada, pero sí es posible hacer que esta polarización permanezca constante durante la transmisión a través de la fibra óptica.

Si la fibra es "deformada" adecuadamente durante su fabricación, es decir, el núcleo de la fibra se fabrica de forma que no provoque un gran cambio de la polarización de la luz durante la transmisión, se habla entonces de transmisión multimodo. Una fibra óptica multimodo tiene un núcleo mayor y los rayos de luz viajarán siguiendo muchos caminos diferentes entre la entrada y la salida, según sean sus frecuencias y del ángulo de inserción. Existen dos tipos de fibras, de índice abrupto, que significa un cambio abrupto en el índice de refracción del núcleo y la cubierta de la fibra y el otro tipo es de índice gradual, que expresa un cambio gradual en el índice de refracción del núcleo que se consigue modificando el material que forma el núcleo de una manera gradual, desde su centro hasta la frontera con la cubierta.

Se ha descubierto que con un índice de refracción gradual en el material de la fibra, podría conseguirse una especie de transmisión monomodo. De esta manera, se conserva el formato de los impulsos, su número y la información se transmite fielmente, ya que la señal se propaga uniformemente a lo largo de la fibra óptica, teniendo pérdidas, pero es posible que no exista una importante distorsión del impulso. Pero si se trata de una fibra que opera en multimodo, al ser alta la frecuencia de entrada, entonces se puede obtener algunos elementos de la señal, tales como los de frecuencia, viajando por la fibra a una velocidad superior a otros elementos, y lo que aparecerá será un problema de distorsión por dispersión.

1.2. Fibras utilizadas en conexiones submarinas

Las fibras monomodo han evolucionado con los pasos de los años, como resultado existen 3 tipos de fibras monomodo usados en sistemas de comunicaciones. El más viejo y ampliamente usado es la fibra sin dispersión alternada NDSF. Estas fibras fueron inicialmente pretendidas para el uso de 1310 nm. Posteriormente, en sistemas 1550 nm que hicieron a la fibra NDSF indeseable debido a su dispersión muy alta en la longitud de onda de 1550 nm. Para ocuparse de ese efecto, los fabricantes desarrollaron la fibra de dispersión alternada DSF eso movió el punto cero dispersión para la región de 1550 nm. Años más tarde, los científicos descubrieron que DSF trabaja extremadamente bien con una sola longitud de onda de 1550 nm, y no exhibe linealidades serias. En múltiples longitudes de onda éstas se estrechan. Recientemente, para ocuparse del problema de poca linealidad, una nueva clase de fibra se introduce. Estos están clasificados como fibra de dispersión alternada no nula NZ-DSF. Esta fibra tiene una dispersión cromática de -2 ps/nm-km. La fibra está disponible en ambas variedades de dispersión positivas y negativas, y se está volviendo rápidamente la fibra de elección en la implementación para las comunicaciones. Hay otra fibra conocida como fibra de núcleo de silicio puro PSCF, ésta tiene una dispersión de $+18$ ps/nm-km.

Para tramo de Boca Ratón (USA)-Puerto Barrios (Guatemala) se utilizó tres tipos de fibras ópticas en un sistema de cable llamado SAM-1 que fueron:

1. La fibra amplia de campo del medio LMF, que tiene una dispersión cromática negativa pequeña sobre la banda de transmisión, y se usa para limitar la degradación de la señal debido a efectos no lineales.

2. La fibra de alta dispersión alternada HDSF, la cual tiene una dispersión cromática negativa pequeña sobre la banda de transmisión.
3. La fibra sin dispersión alternada NDSF, la cual tiene una dispersión cromática positiva grande sobre la banda de transmisión, y es usado para la compensación de dispersión.

A continuación, se mostrarán los parámetros típicos de sus características (tablas I, II, III). Todas las fibras están situadas en la operación de 1540 a 1565 nm.

Tabla I. Parámetros típicos de la fibra amplia de campo del medio (LMF)

Parámetros	Valores típicos
Índice refractivo efectivo	1.470
Longitud de onda de dispersión cero	1585 nm
Dispersión cromática a 1550 nm	-3 ps/nm-km
Pendiente de dispersión, promedio sobre la banda de transmisión	0.11 ps/nm ² -km
Dispersión de modo de polarización en 1550 nm	< 0.07 ps/ nm - km ^{1/2}
Límite de longitud de onda del cable	< 1,400 nm
El diámetro del modo de campo a 1500 nm	9.5 μm
Área efectiva	72 μm ²
Núcleo para revestir de rareza	< 0.4 μm
Diámetro exterior de vidrio	125 μm
Diámetro de recubrimiento exterior (con color)	265 μm

Fuente: TYCO. Cable system manual (3-21)

Tabla II. Parámetros típicos de la fibra de alta dispersión alternada (HDF)

Parámetros	Valores típicos
Índice refractivo efectivo	1.474
Atenuación del cable a 1550 nm	0.21 dB/km
Longitud de onda de dispersión cero	1584 nm
Dispersión cromática a 1550 nm	-2.7 ps/nm-km
Pendiente de dispersión, promedio sobre la banda de transmisión	0.082 ps/nm ² -km
Dispersión de modo de polarización en 1550 nm	< 0.07 ps/ nm-km ^{1/2}
Límite de longitud de onda del cable	< 1,400 nm
El diámetro del modo de campo a 1500 nm	8.4 μm
Área efectiva	50 μm ²
Núcleo para revestir de rareza	< 0.4 μm
Diámetro exterior de vidrio	125 μm
Diámetro de recubrimiento exterior (con color)	265 μm

Fuente: TYCO. Cable system manual (3-22)

Tabla III. Parámetros típicos de la fibra sin dispersión alternada (NDSF)

Parámetros	Valores típicos
Índice refractivo efectivo	1.468
Atenuación del cable a 1550 nm	0.205 dB/km
Longitud de onda de dispersión cero	1306 nm
Dispersión cromática a 1550 nm	+17.0 ps/nm-km
Pendiente de dispersión, promedio sobre la banda de transmisión	0.055 ps/nm ² -km
Dispersión de modo de polarización en 1550 nm	< 0.07 ps/ nm-km ^{1/2}
Límite de longitud de onda del cable	< 1,300 nm
El diámetro del modo de campo a 1500 nm	9.8 μm
Área efectiva	72 μm ²
Núcleo para revestir de rareza	< 0.4 μm
Diámetro exterior de vidrio	125 μm
Diámetro de recubrimiento exterior (con color)	265 μm

Fuente: TYCO. Cable system manual (3-22)

1.3. Equipo necesario

A continuación, se hará una lista del equipo global que es usado para hacer una instalación submarina de cable de fibra óptica.

1. Cable submarino, el sistema de cable utilizado es el de tipo SAm-1, diseñado para proveer un óptimo desempeño a través de un período de 25 años.

El cable submarino SL17 TeraWave TSSL con estructura de núcleo suelto, es usado para todas las aplicaciones transoceánicas de aguas profundas y no profundas. La unión de cable a cable en la fábrica y durante la instalación y reparación del cable SL17 usado en SAm-1 hace uso de procedimientos del sistema de unión y acoplamiento Millennia.

Hay 2 tipos de cable para uso en tierra

- El cable que conecta la fibra óptica terrestre con la fibra óptica submarina. Este cable contiene fibras monomodo, consistente con el tipo y calidad provista por el cable submarino a la cual es unida. Este diseño de cable permite una fácil instalación en conductos terrestres.
- El cable que provee conductores metálicos y continuidad necesaria para la potencia de los amplificadores ópticos submarinos usados como repetidores. También acomoda electrodos para el rastreo y localización de fallas del cable.

2. Los siguientes tipos de fibras usados en multiplexación por división de longitud de onda en el sistema SAm-1 son :
 - La fibra de alta dispersión alternada HDSF.
 - La fibra amplia de campo del medio LMF.
 - La fibra sin dispersión alternada NDSF.
3. Los repetidores usados en el sistema están basados en la tecnología de 980 nm TeraWave.
4. Las unidades de ecualizador de ganancia, la ganancia de los repetidores y las pérdidas de fibras cableadas no son constantes para todas las longitudes usando canales de transmisión a través del sistema WDM. La ganancia de ecualización es obtenida por filtros ópticos pasivos con pérdida-longitud de onda características que complementan la ganancia-longitud de onda y las características de pérdida-longitud de onda de los otros componentes en el camino óptico. Hay dos sistemas de ganancia de ecualización usados en el sistema SAm-1. Primero, filtros que nivelan ganancias GFF éstos son usados en cada amplificador de los repetidores. Segundo, en cada camino de fibras se usan los filtros de ganancia de ecualización GEF que son localizados periódicamente a lo largo del sistema. Los GEF están alojados en unidades de ecualizador de ganancia GEU.
5. Equipo de transmisión de la línea LTE, el TeraWave LTE consta de los siguientes componentes:

- Equipo óptico de alto desempeño de 10 Gb/s (HPOE).
 - Equipo de terminación de longitud de onda (WTE).
 - Amplificador de terminales de línea (TLAs).
6. Equipo submarino de administración de la red UNME, el UNME es el elemento de administrador integrado para el equipo óptico. Monitorea y controla el HPOE, WTE, TLA, MST, LME y el PFE. Es responsable de las siguientes funciones:
- Administra el desempeño.
 - Administra las fallas.
 - Administra las configuraciones.
 - Administra la seguridad.

1.4. Tipos de forros para aguas salinas

La instalación de cableado de fibras ópticas no es fácil, y tampoco lo es poner un satélite en órbita. Para la implementación de un proyecto como el cableado se toman en cuenta varios factores como son:

La profundidad: ésta puede ser desde 1,500 m a 7,000 m con los peligros que esto conlleva, como la pesca de arrastre o anclas de barcos.

El ambiente de la instalación: obviamente por ser una instalación submarina, se toma la condición del medio como el contenido de sal del mismo.

Tomando en cuenta éstos y otros factores se protege el cableado con forros especiales para soportar las inclemencias del medio; en el tramo usado como referencia, se utilizó el cable TeraWave™ TSSL SL17L que provee un camino óptico para la transmisión digital submarina y para la supervisión de las señales, además, de un camino de energía para los amplificadores ópticos.

Este cable ofrece los siguientes beneficios:

- Protección efectiva para la fibra óptica y el conductor de energía para 25 años o más en un ambiente submarino.
- El cable conductor de poder adecuado para llevar señales de localización de fallas.
- Diseño robusto capaz de resistir las tensiones y esfuerzos asociados con la colocación y operaciones de recuperación.
- Puede ser usado en aguas profundas y poco profundas y en tierra.
- Compatible con equipo actual de manejo de cable.

A la vez que la estructura suelta del tubo de cable TeraWave SL17L puede soportar hasta 12 fibras en su estructura central. El cable SL17L se guarda según las prácticas de seguridad estándar. Son guardados en un ambiente seco protegido de la luz del sol directa y radiación ultravioleta concentrada. Tiene un chaleco de polietileno y un tubo de cobre herméticamente sellado que previenen de la humedad y de penetración de gas en el cable durante la operación normal. Sin embargo, después de una exposición de dos semanas de agua, un poco de agua puede penetrar en la apertura final del cable. Para asegurarse que no haya degradación a largo plazo, algún cable debe ser reemplazado.

No ha habido experiencia de incremento en atenuación debido a la corrosión de hidrógeno al conductor de armadura. Los alambres de la armadura están completamente revestidos de asfalto y cubiertos con hilo empapado en asfalto de nailon que previene el contacto con el agua salada. Además, el conductor hermético de poder de cobre previene el hidrógeno que puede alcanzar a las fibras ópticas. El incremento de pérdida en la fibra es debido a la radiación que ocurre naturalmente en el fondo del mar, pero eso es tomado en consideración en las pérdidas totales. Las fibras tienen una sensibilidad de radiación suficientemente baja, independientemente de la estructura del cable o el tamaño.

1.5. Conectores especiales

Los conectores de cable conectan los mismos tipos de cable, ya sea en el agua o en la tierra, proveen un camino óptico, eléctrico y mecánico entre secciones continuas del cable. Los conectores son diseñados para el manejo por maquinaria convencional y para el soterramiento sin degradación del desempeño.

Los conectores pueden resistir 48 horas de suspensión en agua para dar amplitud a las implementaciones de profundidad. Dos tipos de conectores son usados en el sistema de cable SAM-1:

- Conectores Millennia.
- Conectores terrestres.

Las aplicaciones y características de estos conectores son mostradas en la tabla IV

Tabla IV. Aplicaciones y características de conectores

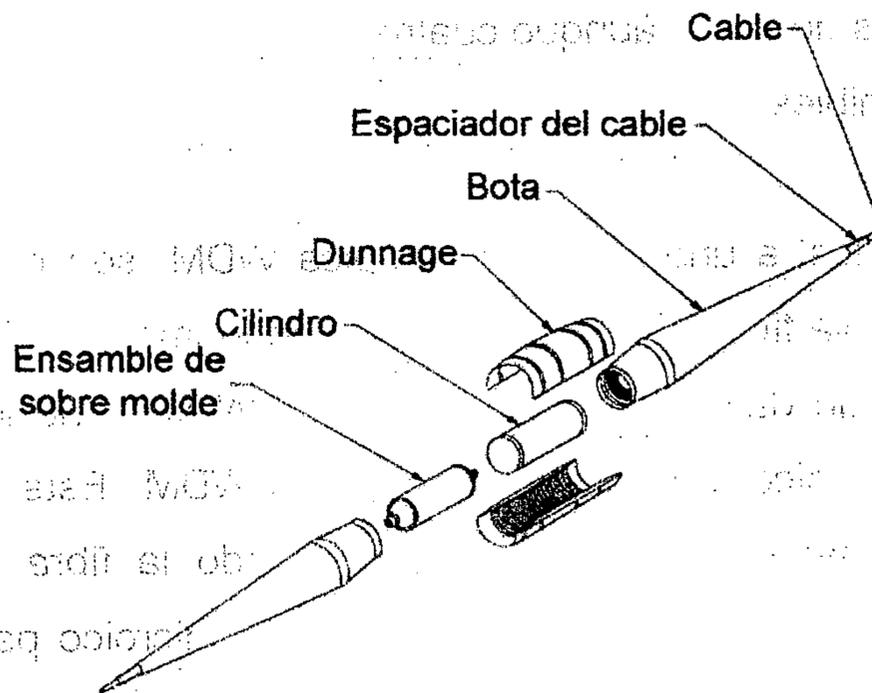
Tipo de conector	Aplicaciones	Características
Conector Millennia	Instalaciones físicas del sistema de fábrica y reparación (a bordo del barco) Alta resistencia Alto voltaje	Ensamble rápido del conector con herramientas universales
Conector terrestre	Conector de playa y conector terrestre Alto voltaje	Acomoda todos los diseños del cable SL17L

Fuente: TYCO. Cable system manual (3-25)

El hardware de conexión de Millennia y los procedimientos sirven para conectar cable a cable en la fábrica y durante la instalación y reparación del cable SL17L usado en el sistema SAM-1. El conector Millennia fue desarrollado usando los principios inicialmente empleados en la unión universal rápida UQJ y toma ventaja de su fácil ensamblaje. También usa equipo de campo actualmente destacado en barcos de unión, eso es moldeando máquinas, rayos X, prensas y máquinas conectoras. Es esencialmente un UQJ expandido, usado para sistemas repetidores, sobre moldeados con polietileno en una manera similar usado por el tipo TSSL 11 ó para acoplamientos universales.

Este proceso ha sido completamente calificado para el cable SL17L en la fabricación, como también a bordo del barco. Los componentes principales del conector Millennia de cable a cable son mostrados por la figura 2.

Figura 2. Conector Millennia



Fuente: TYCO. Cable system manual (3-26)

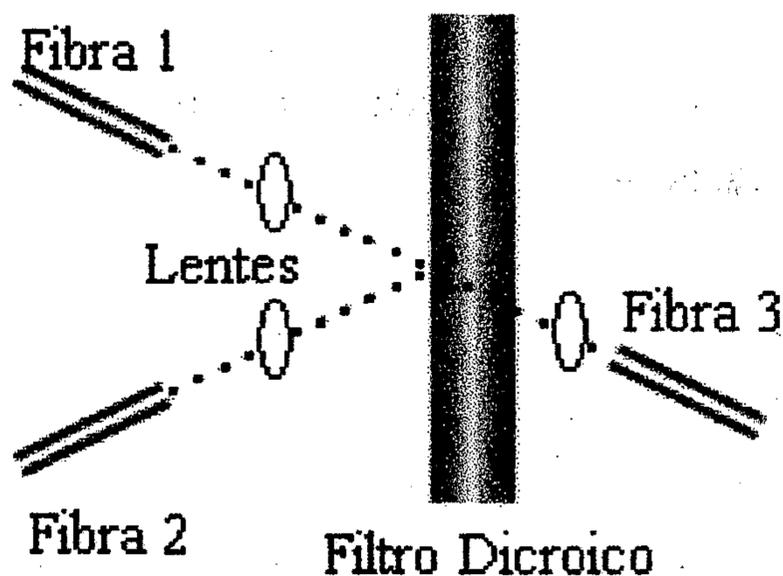
1.6. Métodos de transmisión

La fibra óptica es ahora el medio dominante para la transmisión submarina de señales digitales, y los sistemas ópticos están adecuadamente establecidos para transportar video de alta calidad, audio y señales de datos. Los sistemas deben hacer uso eficiente de la fibra óptica transportando canales múltiples de video y audio en una sola fibra. Se principió con usar sólo una longitud de onda, conforme a los cambios para transmitir más volumen de información, se implementó con multiplexación por división de longitud de onda (WDM), la cual envía dos señales distintas por fibra, y redobla la aptitud de transmisión. Parecido a un repartidor sencillo, WDM típicamente tiene un tramo común y un número de tramos de entrada o de salida. A diferencia del repartidor, sin embargo, se tiene muy poca pérdida de inserción.

Dos consideraciones importantes en un dispositivo WDM son separación de diafonía y del canal. La diafonía que se refiere a la separación de canales multiplexadas, describe qué tan adecuadamente un acoplador mantiene esta separación de puerto a puerto. La separación del canal describe la habilidad de un acoplador para distinguir longitudes de onda. El sistema WDM más común usa dos longitudes de onda, aunque cuatro o los sistemas de más longitudes de onda están disponibles.

La figura 3 ilustra una transmisión típica WDM, son dos datos para ser llevados en una sola fibra. El tipo de dato no tiene importancia, podría ser una señal de video y un dato RS-232 por ejemplo. WDM tiene lentes discretos y filtros, un filtro dicroico yace en el centro del WDM. Este filtro, basado en técnicas interferométricas, refleja luz. Observando la fibra 1, transmite dos longitudes de onda de 850nm y 1310 nm. El filtro dicroico pasa longitudes de onda más largas que 1100 nm, conocido como filtro pasa onda grande LWP. La luz que sale de la fibra 1 primero pasa por un lente que lo enfoca a un punto, en este caso, al filtro, la luz de 1310 nm es filtrada y recolectada por la fibra 3. La luz de 850 nm se refleja completamente en el filtro y es recolectada por la fibra 2. Así, la información en las dos longitudes de onda efectivamente arregladas en par puede ser independientemente decodificadas. El filtro dicroico puede ofrecer una gran cantidad de aislamiento en el modo de transmisión, pero tiene aislamiento pobre en el modo de reflexión. Usualmente, estos tipos de transmisión WDM presentan ambos filtros de pasa onda pequeña SWP y grande LWP, y combinando éstos filtros se logra el mejor desempeño del sistema.

Figura 3. Transmisión WDM con filtro dicroico



Con la demanda creciente, fue necesario buscar otras maneras de incrementar el flujo de información y, a la vez, que fuera compatible con los sistemas existentes. DWDM fue la respuesta a la necesidad creciente para la transmisión de datos eficiente y con la capacidad de trabajar con formatos diferentes, algo semejante como SONET/SDH y que también aumentó el ancho de banda. El componente del amplificador de la fibra óptica del sistema DWDM provee un método eficiente y válido de llevar las señales, amplificar las señales ópticas sin la necesidad de convertirlas a eléctricas.

Estos amplificadores ópticos consisten, básicamente, en un trozo de fibra óptica dopada con Erblio (símbolo Er., es un elemento metálico cuyo número atómico es 68). Este elemento presenta dentro de su sistema electrónico diversas bandas o niveles, que incluyen algunos de características meta-estable, que tienen diferencias de niveles de energía muy próximos a los 1550 nm. Justamente, 1550 nm es la longitud de onda central de la banda más utilizada en los sistemas modernos de fibra óptica, entre otras cosas, por ser esta banda una de las que menor atenuación presenta. El mecanismo de amplificación consiste en que el trozo de fibra dopada con erbio es expuesto a niveles muy intensos de luz de longitudes de onda entre los 980 y 1480 nm. Entonces, al llegar los fotones correspondientes a la señal, estos hacen que electrones que

se encuentran en órbitas meta-estables retornen a su órbita base, esto genera una avalancha de fotones de la misma longitud de onda, fase y dirección que el haz de señal incidente, resultando esto en una verdadera amplificación puramente óptica de la señal.

Con esto, DWDM amplifica un rango amplio de longitudes de onda en la región 1550 nm. Por ejemplo, con un sistema DWDM multiplexando 16 longitudes de onda en una sola fibra óptica, los portadores pueden disminuir el número de amplificadores por un factor de 16 en cada sitio del regenerador. Usando menos regeneradores a lo largo de la red, con lo cual resultan menos interrupciones y la eficiencia es incrementada.

DWDM puede eliminar completamente la necesidad de fibra extra, lo cual es significativo para proveedores que tienen problemas de consumo de fibra, y éste puede ser fácilmente coexistente con las redes SONET/SDH o con las viejas terminales de fibra óptica, llamadas FOT's, las cuales operan mediante protocolos asíncronos.

1.7. Aplicaciones en el mercado

Son múltiples aplicaciones que se ofrece en el mercado, utilizan la fibra óptica, como portadoras comunes telefónicas y no telefónicas, televisión por cable, enlaces y bucles locales de estaciones terrestres, automatización industrial, controles de procesos, aplicaciones de computadora y aplicaciones militares. Sustituyen al cable de cobre convencional para instalaciones, tanto pequeñas, como grandes.

1.7.1. Internet

El servicio de reconexión a Internet por fibra óptica, derriba la mayor limitación del ciberespacio; para navegar por la red mundial, no sólo se necesita un computador, un módem y algunos programas, sino también una paciencia. Un usuario puede pasar varios minutos esperando a que se cargue una página o varias horas tratando de bajar un programa de la red a su PC.

Esto se debe a que las líneas telefónicas, el medio que utiliza la mayoría de los 50 millones de usuarios para conectarse a Internet, no fueron creadas para transportar videos, gráficas, textos y todos los demás elementos que viajan de un lado a otro en la red. Pero las líneas telefónicas no son la única vía, recientemente un servicio permite conectarse a Internet a través de la fibra óptica.

La fibra óptica hace posible navegar por Internet a una velocidad de ISP a 2 Mb/s, eso quiere decir que se puede tener 960 conexiones a esa velocidad en una conexión de fibra submarina de 1.90Gb/s, por ejemplo.

1.7.2. Videoconferencias

Cuando se envían señales de audio y video, como se hace para interacciones visuales, auditivas y verbales con personas de cualquier parte del mundo, se habla de videoconferencias. Usando la fibra óptica como medio de transporte se puede llegar a velocidades típicas de transmisión de 128 Kbps, 384 Kbps y 768 Kbps en estándar de transmisión ATM.

1.7.3. Telefonía internacional

En conversaciones de larga distancia, usando como medio de transmisión la fibra óptica, la comunicación es sin ruidos, ni interferencias y con una gran calidad y rapidez. Además, transmitiendo simultáneamente hasta 320 mil llamadas telefónicas.

1.7.4. Transmisión de datos

La tecnología DWDM ha conseguido copar el mercado como sistema de transmisión preferente en cuanto a largas distancias se refiere. Se tiene un aumento de canales y velocidad. Sin embargo, hay que distinguir entre el ámbito tecnológico y el empresarial. Con respecto a éste último, el límite de velocidad de transmisión demandado depende mucho de dónde se sitúe el usuario con respecto de la red.

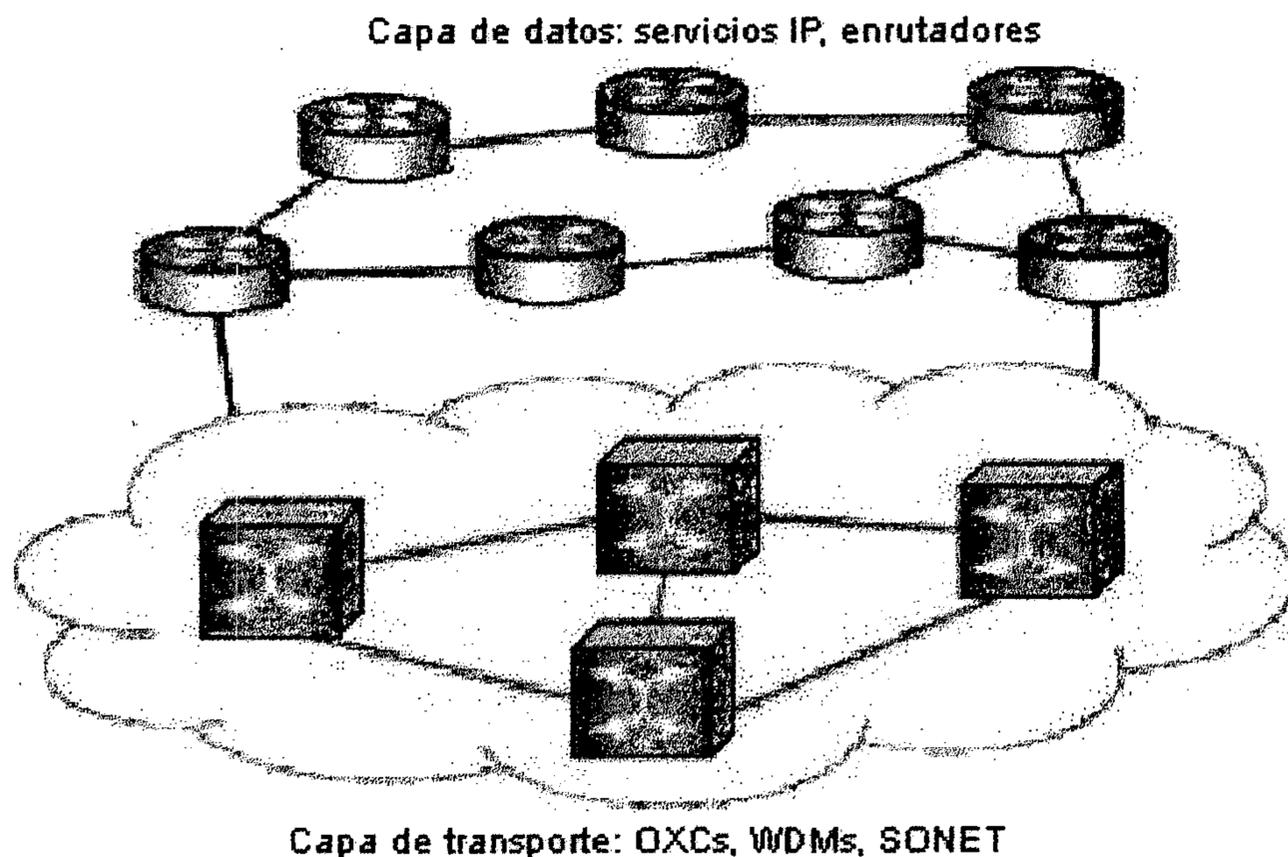
Actualmente, desde el punto de vista comercial, el techo está en los 10 Gb bien de Ethernet o de SDH, las empresas también usan enlaces SDH a 155 Mb, RDSI o ADSL a 2 Mb. Sin embargo, tecnológicamente hablando, ya hay servicios a 100 Ethernet sobre fibra óptica y se trabaja en los 40 Gigabits para SDH.

En cuanto a los mayores servicios, se trata de ofrecer más prestaciones a través de la fibra, como video bajo demanda, videoconferencia, almacenamientos de datos o *web hosting*. Por ejemplo, Alcatel ha desarrollado el producto Alcatel 1674 *Lambda Gate*, el núcleo de un *gateway* óptico. Se trata de un avanzado *cross-connect* óptico multiservicio inteligente que concentra capacidades, acorta distancias e integra las capas de red en un único elemento, esto reduce la complejidad de la red.

1.7.5. Arquitectura de red de la fibra óptica

Si bien las arquitecturas de redes tradicionales están compuestas de cuatro capas: la capa física de fibra, la capa de multiplexación óptica, la capa de conmutación ATM y la capa de enrutamiento IP, muchos proveedores de servicio responden al mercado cambiante con el fin de mejorar el funcionamiento de sus redes y los costos de mantenimiento. Los principales motores de este cambio son el espectacular incremento de tráfico IP, principalmente como consecuencia de Internet, y los avances producidos en las tecnologías de transmisión óptica. Así pues, uno de los cambios fundamentales consiste en trasladar los beneficios proporcionados por ATM a la capa IP mediante desarrollos tales como el interruptor de etiqueta multiprotocolo MPLS. De hecho, en las grandes redes IP la capa ATM está desapareciendo debido a que ahora los enrutadores IP presentan mejoras en cuanto a la velocidad de procesamiento y de transmisión de paquetes.

Figura 4. Modelo de red óptica basado en dos capas



Los expertos aseguran que la arquitectura de red óptima estaría basada en dos capas: una capa de enrutamiento IP y una capa de transmisión óptica (figura 4). En esta red, los enrutadores toman decisiones sobre los paquetes, mientras que la capa de transmisión proporciona rutas de conexión flexibles entre estos enrutadores. Los nodos de transmisión, tales como OXCs, se encargan de las labores de conmutación entre las fibras, longitudes de onda individuales, o incluso ranuras temporales del interior de las longitudes de onda si la funcionalidad SDH se encuentra integrada en ellos. La conexión entre las capas IP y óptica se realizaría mediante conmutación generalizada de la etiqueta de multiprotocolo GMPLS.

Este planteamiento de separar el enrutamiento y el transporte óptico resulta bastante lógico, aunque algunas personas argumentan que en un futuro la red se consolidará en una única capa completamente óptica. Para ello, son claves las investigaciones que se llevan a cabo en la actualidad sobre nuevos dispositivos fotónicos (puertas lógicas y memorias ópticas, entre otros) dentro del marco de las redes ópticas de paquetes (Conectónica no. 54, pp. 8-12).

Una red óptica se divide generalmente en un plano de transporte, un plano de gestión y un plano de control. El plano de transporte proporciona la transmisión óptica y la amplificación de las señales. Por otro lado, el plano de gestión proporciona mecanismos de configuración, gestión de fallos y de prestaciones, así como funciones de seguridad y provisión de conexiones. Por último, el plano de control se encarga de facilitar la configuración rápida y eficiente de las conexiones dentro de la capa de transporte, reconfigurar o modificar las conexiones previamente establecidas y realizar funciones de protección/restablecimiento en caso de fallos.

Como se ha comentado con anterioridad, se espera que las redes ópticas adopten un esquema de arquitectura IP sobre WDM mucho más simple, en el cual se eliminen las capas ATM e incluso SONET/SDH, debido en gran parte al actual predominio de tráfico IP. Así, el primer paso consistiría en eliminar la capa ATM en favor de POS (*packet over SONET*) para, posteriormente, eliminar también la capa SONET. Evidentemente, dada la inversión actual en tecnología SONET/SDH este proceso sería gradual y comenzaría en las áreas metropolitanas para extenderse después a los enlaces de largo alcance.

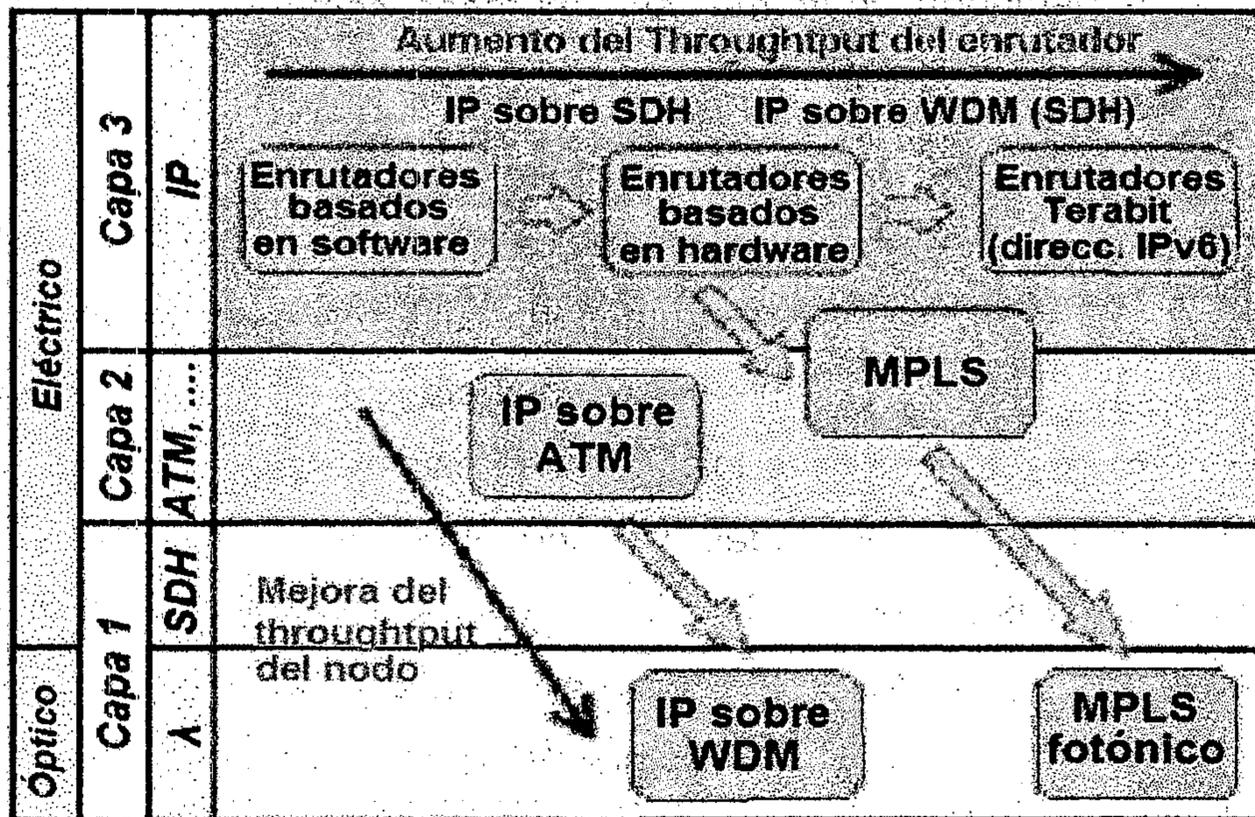
Para reemplazar las capacidades de disponibilidad y fiabilidad de SONET, especialmente en el entorno metropolitano, existen toda una serie de técnicas como son el desarrollo de múltiples rutas redundantes en topologías de malla o nuevos tipos de planos de control (estándar e IP L3 extendido). En cualquier caso, se requiere todavía algún tipo de entramado, para lo cual Gigabit Ethernet constituye una alternativa perfecta. GE es bastante popular en el entorno metropolitano, pues tiene un coste relativamente bajo y está experimentando una creciente demanda conforme las empresas comienzan a extender sus LANs a lo largo de las ciudades.

La figura 5 muestra la evolución de los mecanismos de transporte de IP con relación a las técnicas de enrutamiento utilizadas. Se observa que los enrutadores basados en *software* se reemplazan por otros basados en *hardware* mucho más rápidos. Inicialmente, estos enrutadores se conectan entre sí utilizando líneas alquiladas: IP sobre SDH, pero el aumento de tráfico obliga a una expansión del "*throughput*" de los mismos. Surgen de este modo los enrutadores IP Terabit electrónicos interconectados mediante enlaces WDM de gran capacidad: IP (sobre SDH) sobre WDM. Otra de las posibilidades para el desarrollo de redes IP a gran escala se basa en el esquema IP sobre ATM, el cual ha sido adecuadamente sustituido por MPLS como se ha comentado

anteriormente. MPLS proporciona conmutación orientada a la conexión basada en enrutamiento IP y en un protocolo de señalización IP. El funcionamiento de MPLS se basa en la utilización de etiquetas para la conmutación de las rutas de los paquetes, es posible utilizar diferentes tecnologías en la capa de enlace tales como ATM, Frame Relay, PPP, etc.

El siguiente paso en la evolución hace referencia a la capa óptica; encontrándose esquemas basados en IP sobre WDM y MPLS fotónico (figura 5). La extensión de MPLS a la capa óptica consiste, básicamente, en utilizar longitudes de onda como etiquetas. De este modo, una ruta etiquetada mediante longitud de onda acomoda paquetes IP que siguen el mismo camino, mientras que el enrutador MPLS fotónico es el encargado de conmutar estas rutas ópticas. La capa MPLS fotónica puede constituir una sub-capa del MPLS eléctrico. Dado que los enrutadores IP reconocen a los enrutadores MPLS fotónicos, ambos pueden funcionar de forma integrada mediante señalización IP.

Figura 5. Desarrollos de la tecnología de red basada en IP.



Fuente: Revista Conectronica.com

A todo esto, para eliminar las limitaciones, la nueva generación de SONET plantea las siguientes soluciones:

Concatenación virtual: permite agrupar cualquier número de señales STS-1s ó T-1s como un único flujo SONET. Por ejemplo, dos señales STS-1s pueden combinarse para formar una señal STS-1-2v de 102 Mb/s que resulta adecuada para transmitir las tramas Ethernet de 100 Mb/s. Al mismo tiempo, también permite que los componentes de un mismo flujo tomen distintas rutas. De este modo, se pueden ofrecer servicios OC-192 mediante cuatro rutas OC-48 paralelas.

Esquema de ajuste de la capacidad de enlace: el número de señales STS-1s en el flujo SONET concatenado virtualmente puede variar de forma dinámica. Protocolo de entramado genérico GFP: permite que cada paquete de la trama SONET tenga su propio tipo de protocolo, por lo que resulta posible transmitir *Frame Relay*, *Fibre Channel* y *Ethernet* sobre la misma trama SONET. Además, GFP también dispone de un modo transparente que se ha diseñado para comprimir los flujos codificados 8b/10b por un factor 80/65. De este modo, una señal GE requiere sólo 1.02 Gb/s para la conectividad de su capa física y pueden transmitirse dos flujos GE sobre un enlace STS-48c.

En resumen, todas estas modificaciones son más adecuadas para tráfico de datos y proporcionan un compromiso en términos de flexibilidad y disponibilidad. Está claro que IP seguirá siendo el servicio de datos más popular, pero la pregunta es si *Ethernet* será utilizado como medio de transporte o las tramas *Ethernet* se transportarán sobre la infraestructura SONET. La pregunta está en el aire. La gran ventaja que tiene SONET es que, en la actualidad, existe una importante infraestructura desplegada, pero los avances que se producen últimamente en el campo de las redes ópticas de paquetes y desarrollos tales como GMPLS auguran un futuro muy distinto.

2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN ENLACES SATELITALES

Un satélite actúa como una estación de relevación (*relay station*) o repetidor. Un transpondedor recibe la señal de un transmisor, luego la amplifica y la retransmite hacia la tierra a una frecuencia diferente. Debe notarse que la estación terrena transmisora envía a un solo satélite. El satélite, sin embargo, envía a cualquiera de las estaciones terrenas receptoras en su área de cobertura o huella (*footprint*).

La transmisión por satélite ofrece muchas ventajas para una compañía. Los precios para negociar el espacio satelital resultan más estables que los que ofrecen las compañías telefónicas, ya que la transmisión por satélite no es sensitiva a la distancia. Además, existe un gran ancho de banda disponible.

Los beneficios de la comunicación por satélite desde el punto de vista de transmisión de datos podrían ser los siguientes:

- Transferencia de información a altas velocidades: según el tipo de satélite y su tecnología pueden ser de 400Kb/s a 60 Mb/s.
- Ideal para comunicaciones en puntos distantes: fácil implementación de enlaces en lugares que no son de fácil acceso geográfico.

- Ideal en servicios de acceso múltiple a un gran número de puntos: por ejemplo cuando se habla de educación a distancia.
- Comunicación telefónica interoceánica: permite establecer la comunicación entre dos usuarios distantes con la posibilidad de evitar las redes públicas telefónicas.

Entre las desventajas de la comunicación por satélite están las siguientes:

- Tiempo de retardo en el enlace: según sea el tipo de enlace satelital, puede tomar desde 50ms a 250ms de tiempo de propagación.
- Sensibilidad a efectos atmosféricos: por ejemplo, por las inclemencias del clima o cuando se producen mareas solares.
- Sensibles a eclipses: cuando se producen los dos tipos de eclipse solares.
- Falla del satélite: al producirse desperfectos (no es muy común).
- Requieren transmitir a mucha potencia: se usan las bandas típicas Ku y Ka en 12-14 GHz y 18-20 GHz, respectivamente.
- Posibilidad de interrupción por cuestiones de estrategia militar.

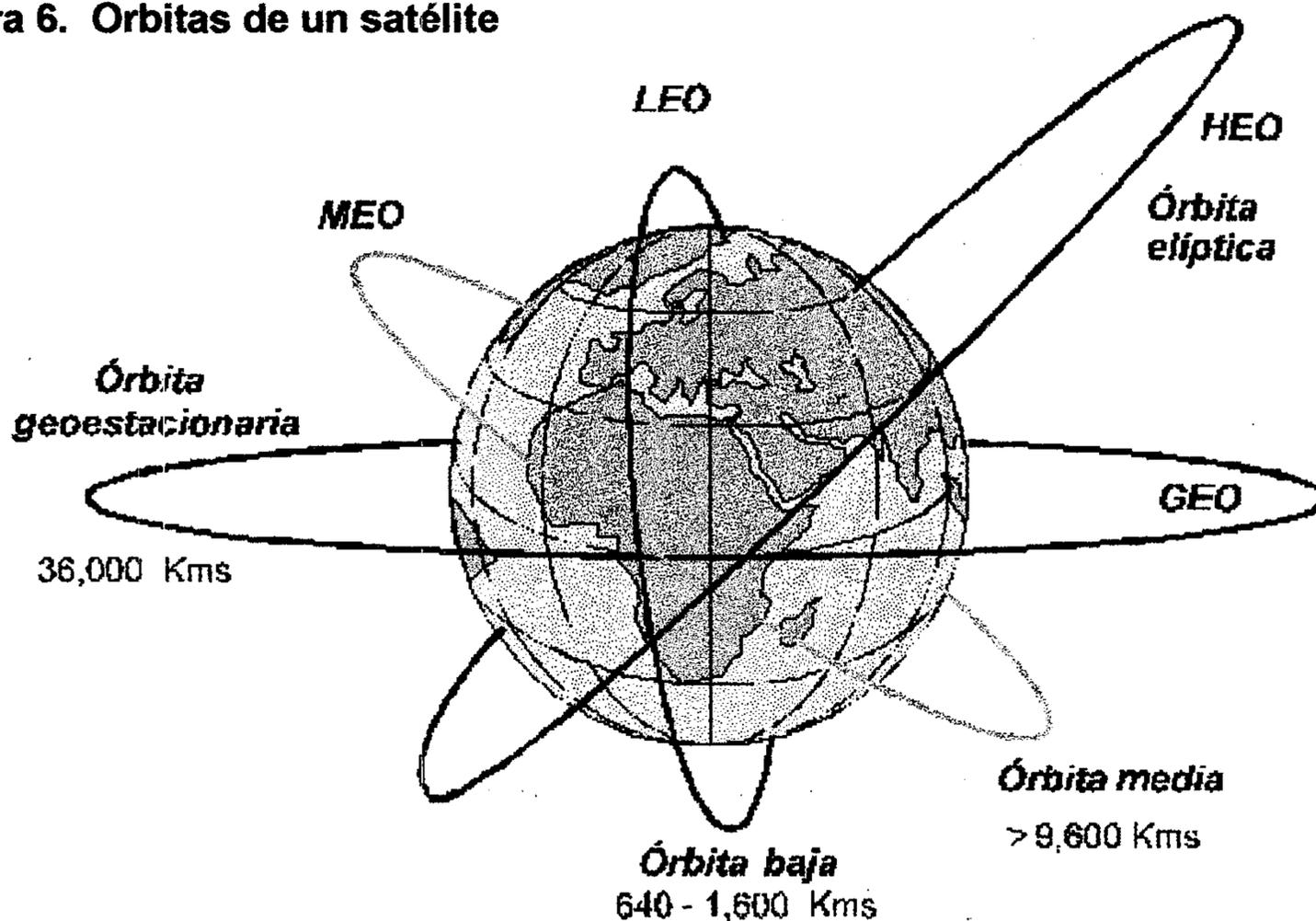
2.1. Tipos de satélites

Una manera sencilla de diferenciar los diversos sistemas de satélites es por la altura a la que se encuentran (figura 6). También es un factor clave para determinar cuántos satélites necesita un sistema para conseguir una cobertura mundial y la potencia que debe tener. Dado cierto ancho de haz de la antena del satélite, el área de cobertura del mismo será mucho menor en una órbita de poca altura que en otra de mayor altura. Sin embargo, la potencia necesaria para emitir desde un órbita baja es muy inferior a la necesitada en casos de mayor altura de la órbita.

Satélites GEO (de Órbita Terrestre Geosíncrona):

Situados a 35,848 Km alrededor del ecuador, poseen la propiedad (por estar orbitando en esa posición) de estar siempre en el mismo lugar respecto de la superficie de la Tierra. La mayoría de los satélites son GEO, pero debido a las pocas posiciones que se pueden ocupar (pues se debe dejar un margen de guarda entre ellos) y al retraso en la transmisión que se produce por estar a tanta distancia de la superficie terrestre, se están desarrollando nuevos proyectos para satélites con órbitas más bajas. El retraso o latencia que estos sistemas de satélites implican es más importante en las comunicaciones de lo que en principio pudiese parecer, pues esta latencia de los GEO es la fuente de demora fastidiosa en muchas de las llamadas internacionales, ya que impide que se pueda entender la conversación y deforma el matiz personal de la voz. Lo que puede ser una incomodidad en una conversación telefónica, sin embargo, puede ser insostenible para aplicaciones en tiempo real, tales como videoconferencias, como también para muchos protocolos estándares de datos y, aun, para los protocolos subyacentes de Internet.

Figura 6. Orbitas de un satélite



Satélites MEO (de Órbita Terrestre Media):

Situados en una altura entre 10,075 y 20,150 Km, mejoran el problema del retardo pero su posición respecto de la superficie ya no es fija. Al estar a una altitud menor, se necesita un número mayor de satélites para obtener cobertura mundial, pero la latencia se reduce. Hoy día no existen muchos satélites MEO, y, básicamente, se utilizan para dar servicios de posicionamiento.

Satélites LEO (de Órbita Terrestre Baja):

Orbitan por debajo de los 5,035 Km (la mayoría están entre los 600 y 1,600 Km). A tan baja altura la latencia se reduce muchísimo, a valores de, incluso, unas pocas centésimas de segundo, con lo que se pueden conseguir transmisiones a mucha mayor velocidad. Eso sí, se necesitan de cientos de satélites para que, antes de que se pierda la señal de un satélite que se aleja,

el usuario pueda "engancharse" a otro satélite que se acerque a su posición (18 a 20 minutos). Esto podría verse como un serio problema a la hora de diseñar la antena. Este problema lo resuelve una tecnología denominada antena de *array* en fase. A diferencia de una antena parabólica normal, que sigue mecánicamente el rastro del satélite, las antenas de *array* en fase son dispositivos autodirigidos que contiene diversas antenas más pequeñas que pueden seguir a varios satélites sin moverse físicamente, por medio de señales levemente diferentes recibidas por el conjunto de antenas, reducen así el desgaste; entre otras ventajas, está su precio, lo cual es muy importante para la implantación de servicios que lleguen al usuario final.

En principio, las órbitas terrestres de baja altura prometen un ancho de banda inmenso y una latencia reducida, pero se pueden distinguir tres tipos de LEOs que manejan diferentes cantidades de ancho de banda: Los LEO pequeños están destinados a aplicaciones de bajo ancho de banda (de decenas a centenares de Kb/s), como los buscaperonas, e incluyen a sistemas como OrbComm. Los grandes LEO pueden manejar buscaperonas, servicios de telefonía móvil y algo de transmisión de datos (de cientos a miles de Kb/s). Los LEO de banda ancha (también denominados megaLEO) operan en la franja de los Mb/s.

2.2. Capacidades de los satélites

Actualmente, existen varios proyectos de banda ancha que lo que pretenden es establecer mediante una constelación de satélites, una red de alta capacidad de transmisión equivalente a los enlaces de fibra óptica existentes en la actualidad. De hecho, son los estándares de las redes de fibra óptica los que se marcan como objetivo de algunos de estos proyectos.

En principio, y debido a los grandes anchos de banda, los servicios que se ofrecen no van dirigidos a un usuario final, sino que ofrecen facilidades de transmisión de datos de banda ancha pero orientados, principalmente, a otros proveedores de servicio que serán los que ofrezcan sus servicios a un usuario final.

Los proyectos de redes de satélites que hoy día se desarrollan y/o prueban permiten una amplia gama de velocidades de transmisión en el enlace con el satélite de la célula en que está enmarcada. Se pueden abarcar en tres tipos de conexiones:

- a. Estándar: en el enlace ascendente se permite operar desde cualquier múltiplo de 16 Kb/s (canal básico) hasta un máximo de 2.048 Mb/s dado que asignan bajo demanda, pudiéndose repartir este tráfico como el usuario desee (por ejemplo, 128 canales de voz a 16 Kb/s por un solo canal de 2.048 Mb/s o E1). En cuanto al enlace descendente, se puede llegar hasta los 64 Mb/s.
- b. Con terminales de banda ancha: ofrecen un ancho de banda de 64 Kb/s, tanto en el enlace ascendente como en el descendente.
- c. Gigalinks: estas redes pueden ser capaces de soportar un número limitado de terminales fijos para Gigalinks (entre una y dos decenas), que operan a la velocidad de 155.52 Mb/s (OC-3) y múltiplos de esta velocidad, hasta los 1.2 Gb/s (OC-24). Evidentemente, ningún usuario final requerirá estas capacidades de transmisión, sino que los que lo harán serán determinados proveedores de servicio, cuyo número es limitado y, por lo tanto, la red podrá atenderlos.

2.3. Equipo necesario

Cada remota consiste de una antena, la unidad amplificadora de radio frecuencia (RF) y un modulador. La frecuencia intermedia en la conexión entre el módem y la unidad de RF es en banda L (950 a 1450 MHz) y no a 70 MHz. Para banda C, las antenas remotas pueden ser de un diámetro de 1.8 metros o 2.4 metros y la unidad de RF puede ser de 5 Watts en adelante. Los módems soportan velocidades desde 9.6 Kb/s a 4 Mb/s. Para banda Ku, las antenas pueden ser de 1.8 metros y las unidades de RF pueden ser de 2 Watts.

En la estación central se coloca un módem similar al de las remotas. En la cadena de recepción se utilizan varios demoduladores, uno por cada estación remota. El módem puede transmitir a velocidades de 9.6 Kb/s a 4 Mb/s. Los demoduladores pueden operar en el mismo rango. El modulador alimenta a la unidad de RF cuya potencia va a depender del tráfico, pero éstas pueden ser unidades de 20, 40, 80, 125 Watts en banda C. En banda Ku, las potencias podrían ser de 16, 40, 80 o 125 Watts. La antena central, por lo general, va a tener un diámetro de 3.8 metros o mayor (figura 7).

Los puertos de los módems y demoduladores se conectan a puertos seriales de los multiplexores. Estos multiplexores son *switches Frame Relay* o *Frads* o *routers*. La transmisión hacia el satélite se hace por medio de un puerto serial que soporte *Frame Relay*, del otro lado del multiplexor se pueden soportar diferentes tipos de puertos y servicios, tales como IP, VOIP, canales de voz FXO, FXS, E&M, voz digital E1, HDLC, *Frame Relay*, ISDN, etc.

Figura 7. Diagrama equipo necesario en un enlace satelital modelo de bajada del satélite

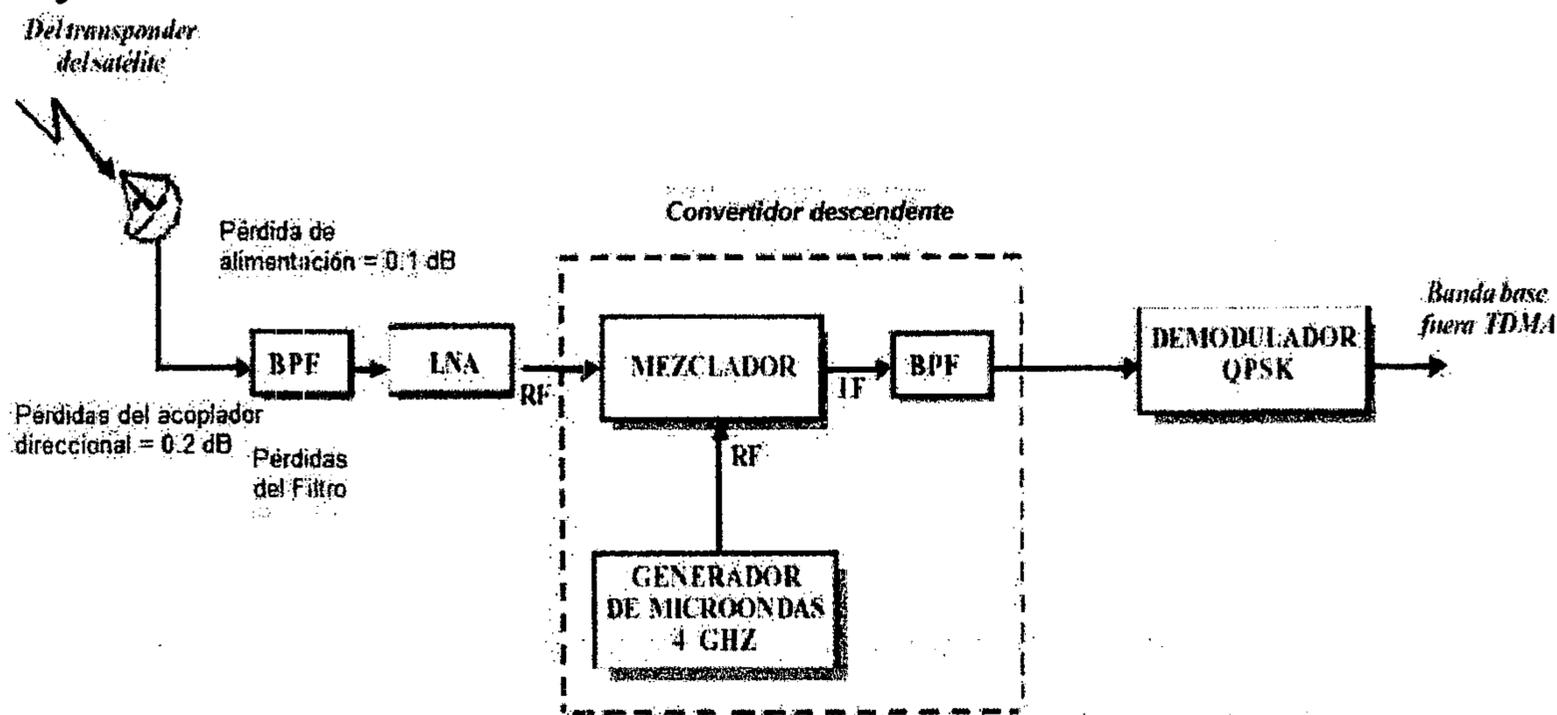
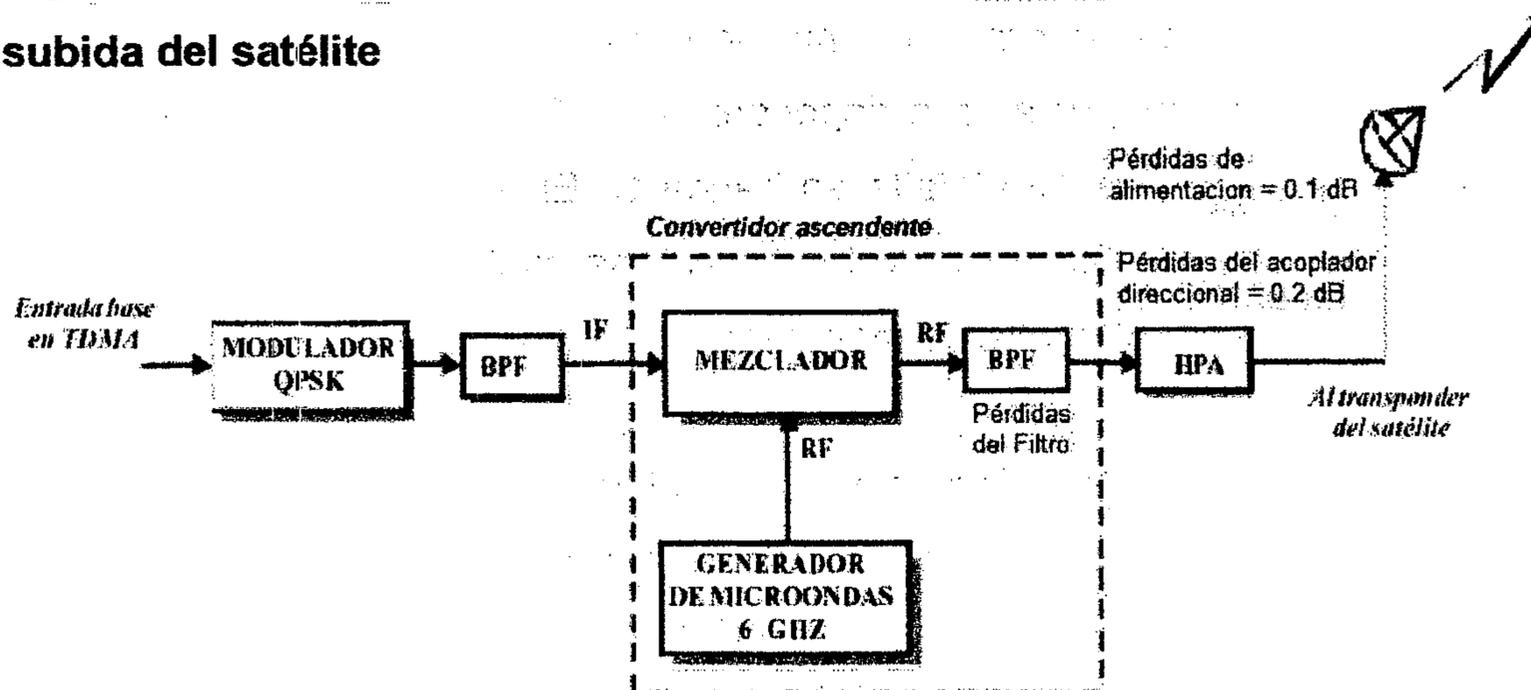


Figura 8. Diagrama equipo necesario en un enlace satelital modelo de subida del satélite



2.4. Métodos de transmisión

Para las transmisiones satelitales se usan las bandas de 3.7 a 4.2 GHz y de 5.9 a 6.4 GHz. En la actualidad, esas bandas conocidas como las bandas 4/6 GHz se encuentran superpobladas. Las bandas superiores siguientes disponibles para la telecomunicación son las de 12/16 GHz.

El ancho total de 500 MHz de un satélite se divide en *transponders* y usualmente, éstos tienen un ancho de banda de 36 MHz. El amplificador de cada *transponder* puede dar cabida a una gran diversidad de información. Una alternativa para que simultáneamente varias transmisiones ocupen el mismo *transponder* es utilizar el esquema FDMA, Acceso Múltiple por División de Frecuencias.

El espectro del *transponder* se divide en secciones o segmentos de frecuencias, y la configuración es rígida e invariable, cada estación debe transmitir siempre con la misma portadora. Pero en el caso de que el tráfico generado en los puntos que comparten el *transponder* sea intermitente y esporádico, se usa una alternativa llamada Acceso Múltiple por División de Frecuencias por Demanda, DAMA.

Sin embargo, no son los únicos sistemas de transmisión, está el TDMA, Multiplexación por División de Tiempo, y el CDMA, Acceso Múltiple por División de Código. Este último CDMA, es un sistema completamente digital, requiere de antenas pequeñas que las demás, usa un amplio ancho de banda, en donde cada bit se transforma en un tren de bits muy largo de acuerdo con un código determinado previamente.

2.5. Aplicaciones en el mercado

Entre las aplicaciones están comunicaciones móviles con terminales de mano a través de satélite, desde cualquier punto del globo. Con la ayuda de terminales duales celular-satelital, el subscriptor podrá utilizar la constelación de satélites cuando su estándar celular no esté disponible y viceversa, así asegura un *roaming* bidireccional, cobertura global y las ventajas de ambas tecnologías. También están las transmisiones televisivas, etc.

2.5.1. Internet

Actualmente, sólo el 2% de la población latinoamericana, es decir, cerca de nueve millones de personas, están conectadas a Internet, según *Jupiter Communications*. Los obstáculos para el incremento de las conexiones a Internet son de diversa índole. Uno de ellos, según los especialistas, es la permanencia de monopolios con las tarifas, debido a que aún muchas empresas de telecomunicaciones pertenecen al Estado y las que se privatizaron fueron entregadas a una sola compañía.

Los cibercafés: es previsible que en el futuro la oferta de cibercafés crezca y se diversifique ante el aumento de la demanda de conexión a Internet. Ya se perciben tendencias hacia la especialización y el acceso gratuito a cambio de un consumo mínimo en el local, como ya sucede en algunos de ellos. Sin embargo, los cibercafés se enfrentan a algunos problemas. La mayoría aún no son rentables y muchos desaparecerán por el abaratamiento de las telecomunicaciones y computadores, que permitirá a los actuales «cafeinutas» comprar su propio equipo; además, el desarrollo de la tecnología para que otros aparatos —como el teléfono celular— tengan acceso a Internet, hará que muchos ya no necesiten el computador y, finalmente, deberán enfrentarse a la gran competencia, ante el casi seguro surgimiento de nuevos locales.

Las principales ventajas de la conexión a Internet vía satélite son dos, una mayor velocidad en la recepción de datos (las actuales ofertas comerciales varían de 128 a 2,049 Kb/s) y una cobertura total del territorio. Esta última característica hace de esta conexión, la más idónea para las poblaciones en las que no hay ninguna de las otras plataformas de comunicación, como serían las zonas rurales y de alta montaña. Así, un satélite puede soportar 600 ISP, dar un servicio de 2 Mb/s, y ocupar todo su ancho de banda.

2.5.2. Telefonía internacional

En comunicaciones telefónicas satelitales, sin utilizar la constelación de satélites, ofrece la posibilidad de efectuar *roaming* entre protocolos celulares terrestres como el GSM y el IS-41 (AMPS, en América principalmente). El suscriptor utilizará su suscripción GSM y los servicios ofrecidos por ella en el mundo AMPS y viceversa, conservando un único número personal y un único recibo con su proveedor de servicios.

2.5.3. Transmisión de datos

Red Digital Satelital, para comunicar sucursales u oficinas remotas a través de la exclusiva plataforma de transmisión de voz y datos satelital, entregando servicios completos para la empresa como transporte de datos, acceso a Internet, líneas de voz y fax. También se ofrecen Red Digital de Servicios Integrados, RDSI, para proporcionar conectividad digital de extremo a extremo para una amplia gama de servicios de telecomunicaciones.

Entre ellos, la transmisión de voz, fax e imagen desde un mismo lugar de trabajo. Con el RDSI el acceso es conmutado, permite dos vías de comunicación digital en una misma línea telefónica (64 y 128 Kb/s).

La utilización de respaldo de enlaces digitales dedicados, como los enlaces WAN que unen redes de área local, permite un acceso conmutado de alta velocidad a Internet, además de realizar videoconferencias nacionales e internacionales.

2.5.4. Arquitectura de la red satelital

Las características de un satélite imponen una serie de limitaciones que afectan a los protocolos de comunicación que pueden usarse. Esencialmente, un sistema satelital consiste de tres secciones básicas: una subida, un transponder satelital y una bajada.

1. Modelo de subida

El principal componente dentro de la sección de subida satelital, es el transmisor de estación terrena. Un típico transmisor de la estación terrena consiste de un modulador de IF, un convertidor de microondas de IF a RF, un amplificador de alta potencia HPA y algún medio para limitar la banda del último espectro de salida (por ejemplo, un filtro pasa-bandas de salida). El modulador de IF convierte las señales de banda base de entrada a una frecuencia intermedia modulada en FM, en PSK o en QAM. El convertidor (mezclador y filtro pasa-bandas) convierte la IF a una frecuencia de portadora de RF apropiada. El HPA proporciona una sensibilidad de entrada adecuada y potencia de salida para propagar la señal al transponder del satélite. Los HPA comúnmente usados son klystrons y tubos de onda progresiva, aunque también están a la disponibilidad los SSPA y los TWTA.

2. Transponder

Un típico transponder satelital consta de un dispositivo para limitar la banda de entrada BPF, un amplificador de bajo ruido de entrada LNA, un trasladador de frecuencias, un amplificador de potencia de bajo nivel y un filtro pasa-bandas de salida. Este transponder es un repetidor de RF a RF.

Otras configuraciones de transponder son los repetidores de IF, y de banda base, semejantes a los que se usan en los repetidores de microondas.

3. Modelo de bajada

Un receptor de estación terrena incluye un BPF de entrada, un LNA y un convertidor de RF a IF. Nuevamente, el BPF limita la potencia del ruido de entrada al LNA. El LNA es un dispositivo altamente sensible, con poco ruido, tal como un amplificador de diodo túnel o un amplificador paramétrico. El convertidor de RF a IF es una combinación de filtro mezclador /pasa-bandas que convierte la señal de RF recibida a una frecuencia de IF.

4. Enlaces cruzados

Ocasionalmente, hay aplicaciones en donde es necesario comunicarse entre satélites. Esto se realiza usando enlaces cruzados entre satélites o enlaces Inter-satelitales ISL. Una desventaja de usar un ISL es que ambos, el transmisor y receptor, son enviados al espacio. Consecuentemente, la potencia de salida del transmisor y la sensibilidad de entrada del receptor se limitan.

Los vehículos espaciales están limitados en volumen, peso y, sobre todo, potencia, por lo tanto, su capacidad de procesamiento y memoria están limitados. En general, disponen sólo de 0.15 a 4 MIPS y de 0.15 a 4 Mb. Posiblemente las futuras restricciones en potencia, volumen y peso serán menos severas, pero la capacidad de proceso y la memoria continuarán siendo más limitadas en un vehículo espacial que en los sistemas terrestres. La

espera que alcance los 8 MIPS y la memoria puede que obtenga los 8 Mb. Actualmente, la potencia de transmisión es relativamente pequeña, esto da como resultado una velocidad de transmisión media-baja.

Las características de un entorno de red en el espacio tienen un impacto en los protocolos de comunicación que puedan dar soporte a las aplicaciones espaciales.

Mientras que a los vehículos espaciales geoestacionarios se puede acceder continuamente desde el mismo punto de la Tierra, los LEO son accesibles, normalmente, de forma periódica sólo durante unos pocos minutos desde el mismo punto de la Tierra. Además, los sistemas consistentes únicamente en satélites LEO tienen una conectividad con la Tierra variable en el tiempo (cada modelo de conectividad dura únicamente unos pocos minutos), donde cada modelo específico de conectividad se repite periódicamente.

3. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS DOS MÉTODOS DE TRANSMISIÓN

3.1. Velocidad de transmisión de cada medio

Para las transmisiones en fibra óptica en WDM, existen proyectos de carácter experimental que utilizan más de 40 canales llegando, incluso, a cerca de 80, según informan sus responsables. Las velocidades obtenidas se inscriben fundamentalmente en el entorno OC-48 (*Optical Carrier 48*) de SONET con 2.5 Gb/s, y en su equivalente STM16 del entorno SDH, lo cual ha generado que OC-48 aparezca como una tecnología madura para DWDM. Sin embargo, las tendencias se orientan hacia niveles de *Optical Carrier* con velocidades asociadas más elevadas, como OC-192 de SONET y su equivalente STM64 de SDH, que proporcionan velocidades de 10 Gb/s y permiten afrontar la creciente demanda de ancho de banda de una manera más eficaz. Con OC-192 se evitan los problemas y complejidad de ingeniería que supone tratar de ampliar el ancho de banda manteniéndose en OC-48 (se necesitaría, en este caso, aumentar considerablemente el número de elementos de red), pero impone restricciones en lo que respecta al tipo de fibra. En este contexto, la fibra óptica que aparece como idónea es la fibra de dispersión alternada no nula NZDSF, también conocida como G. 65X, cuyo diseño está basado en técnicas de gestión de la dispersión.

En cuanto a prestaciones de servicios por satélite, un gran número de compañías están lanzándose a la carrera de ser los primeros en llegar al mercado en las diferentes áreas. De los sistemas basados en constelaciones de satélites LEO para comunicaciones móviles se pueden destacar los sistemas

Iridium y Globalstar y de los basados en redes de satélites MEO, los Odyssey e ICO. De los sistemas con satélites GEO se destaca el Inmarsat-3. En estos momentos todavía hay compañías que piden licencias a la Comisión Federal de Comunicaciones FCC, de EE.UU., para construir redes de satélites para servicios de comunicaciones, tal como ha hecho la compañía Orbital Sciences Corp., que tiene la intención de establecer una red global de satélites denominada OrbLink, que podría usar la banda de 65 a 71 GHz y una capacidad de 15 Gb/s para comunicaciones entre satélites. Podría ofrecer comunicaciones digitales bidireccionales con velocidades comprendidas entre 1.5 Mb/s y 1.25 Gb/s con frecuencias en las bandas de 37.5 a 38.5 GHz y 47.7 a 48.7 GHz.

3.2. Capacidad de procesamiento de datos de cada medio

En el caso de medio de transmisión por fibra óptica, gracias al DWDM, hoy, la capacidad de transmisión más alta es 8.4 Tb/s por par de fibra (105 canales a 10 Gb/s cada uno), es decir, arriba de los 80 millones de canales telefónicos. El cable con mayor capacidad en el momento en América Latina es de el SAM-1 de 1.92 Tb/s por segundo (48 longitudes de onda por par de fibras que son 4, cada uno con 10 Gb/s).

En el caso de un satélite como medio transmisor, usando el TDMA de 622 Mb/s se llega a una capacidad de 124,400 canales telefónicos.

Los satélites están compuestos por un rango desde 24 hasta 60 transponders. Si se tiene en cuenta que el transponder más común es de 36 MHz y posee una capacidad de transmisión de datos aproximada de 40 a 45 Mb/s se puede concluir que la capacidad media de transmisión de datos por transponder puede estar en un rango de 1,080 Mb/s, el equivalente a una

película hasta unos 2,700 Mb/s igual a unos 6 discos duros de un pc. La capacidad aproximada de satélites que pueden atender a América Latina es de 1,400 Mb/s en banda C y 875 Mb/s en banda Ku.

3.3. Ancho de banda

Los sistemas DWDM toman ventaja de tecnología óptica avanzada (ejemplo, los láseres que se puede afinar, los filtros ópticos banda angosta, etc.) para generar muchas longitudes de onda en el rango alrededor de 1550 nm, la ITU-T Recomendación G.692 define 43 canales de longitud de onda, de 1530 para 1565 nm, con un espaciamiento de 100 GHz, cada canal lleva una señal OC-192 en 10 Gb/s. Sin embargo, los sistemas con canales de longitud de onda de más de 43 longitudes de onda se han introducido, y los sistemas con muchas más longitudes de onda están en el área de experimento.

Actualmente, los sistemas comerciales con 16, 40, 80, y 128 canales (longitudes de onda) por fibra han sido anunciados. Esos con 40 canales tienen un espacio de canal de 100 GHz, y aquellos con 80 canales tienen un espacio de canal de 50 GHz. Esta separación del canal determina la estrechez del espectro (la longitud de onda) de cada canal, o qué tan cercanos (en términos de la longitud de onda) están los canales. Los sistemas DWDM de 40 canales se pueden transmitir sobre una sola fibra un agregado ancho de banda de 400 Gb/s (10 Gb/s por canal).

Los satélites de banda ancha operan en órbitas bajas (LEO) y geoestacionarios (GEO) y operan en la mayoría de los casos en la banda Ku (de 10-18 GHz) y Ka (en el rango de 27-40 GHz), con velocidades de transmisión de 400 Kb/s (con Ku); más de 30 Mb/s (con Ka).

Para las redes actuales, se necesitan nuevas tecnologías. Entre ellas, se destacan unos haces más enfocados y la tecnología digital de la señal, que juntos pueden incrementar la reutilización de las frecuencias (y, por lo tanto, el ancho de banda) y reducir el diámetro de las antenas de metros a centímetros. Según algunos, también se necesita una gran porción del espectro electromagnético no utilizado. Estos requisitos técnicos comenzaron a alcanzarse en 1993, cuando la NASA lanzó su satélite de tecnología avanzada de telecomunicaciones o ACTS. El ACTS fue pionero en la prueba de un sistema de satélites en órbita terrestre geosincrónica (GEO) totalmente digitales, de haz concentrado y que operaba en la banda Ka (18-40 GHz), capaz de proporcionar un ancho de banda de cientos de megabits por segundo.

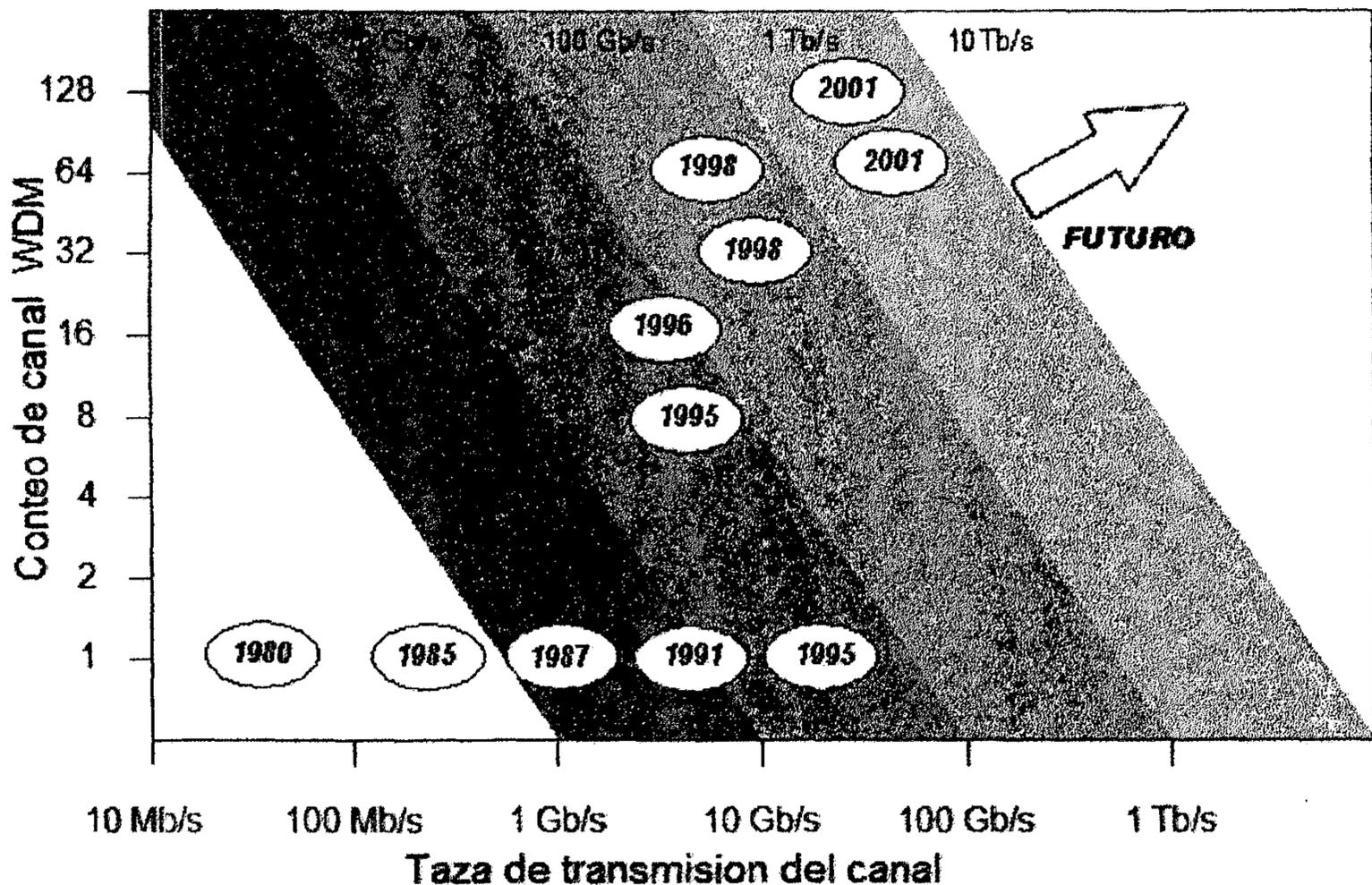
3.4. Análisis en sus aplicaciones para el futuro

El factor importante en estos desarrollos es el incremento en la aptitud de transmisión de fibra, lo cual se ha ampliado por un factor de 200 en la última década. La figura 9 ilustra esta tendencia. Por el ancho de banda potencial inmenso de la tecnología de la fibra óptica, 50 THz o más grande, hay posibilidades extraordinarias para aplicaciones futuras de la fibra óptica. Además del esfuerzo por traer servicios de banda ancha, incluyendo datos, audio, y especialmente el video.

Otra de las ventajas que tiene el uso de la fibra óptica es que se puede hacer grandes cantidad de enlaces independientes de alta velocidad como: *Fibre Channel*, ESCON, FICON, ATM 155 y 622 Mb/s, *COUPLINK LINK*, *Gigabit Ethernet*, SDH, 100BT, video profesional. Así que el uso de este medio de transmisión será usado por muchas generaciones que están por venir.

Con la llegada de los cables submarinos ha llegado el *boom* de ancho de banda en la región. Esto no significa que los satélites se van a quedar sin oficio. Aunque los satélites no se beneficien de la tecnología DWDM, tienen la capacidad de transmitir a muchos puntos a la vez. Los satélites se deben concentrar en ese negocio, en atender regiones del mundo como partes de América Latina en donde la infraestructura de fibra óptica apenas está siendo instalada.

Figura 9. Tendencia de la fibra óptica en DWDM



Fuente: www.fiber optic.info/history.html

En el caso de un enlace satelital, debido a su naturaleza, la demanda de servicios de éste solo aumenta en el área de sistemas de navegación y aplicaciones cartográficas, topografía, geodesia, sistema de información geográfica, mercado de recreo (deportes de montaña, náutica, expediciones de todo tipo, etc.), patrones de tiempo y sistemas de sincronización, aplicaciones

diferenciales que requieran mayor precisión además de las aplicaciones militares y espaciales.

En el futuro se espera que la ocupación de los enlaces permanezca igual, pues el aumento del tráfico será previsiblemente proporcional al incremento de las tasas de transmisión de datos.

4. COSTOS DE UN ENLACE POR FIBRA SUBMARINA ENTRE BOCA RATÓN-PUERTO BARRIOS

4.1. Costos de material y equipo

En esta sección se describirá el equipo necesario para establecer este tipo de enlaces. Obviamente, habrá nuevos equipos que variarán de acuerdo con el tiempo de la instalación o renovación del mismo.

En este análisis económico se tomará como referencia un enlace de fibra submarina de Boca Ratón, EE.UU. a Puerto Barrios, Guatemala, sólo para establecer la distancia del enlace. Lo que comprendería este enlace sería, desde la estación terminal de Boca Ratón a la otra estación terminal de Puerto Barrios pasando a través del océano Atlántico y parte en tierra. Esto da una distancia de 1,752 Km.

En este enlace se utilizaron tres tipos de fibras comentadas en el capítulo 1.2, estableciendo un sólo costo el emplearlas tanto en la parte submarina como en la terrestre. En el costo de cable, van incluidos los conectores utilizados para hacer la conexión entre los tres tipos de fibras, el repetidor y los ecualizadores con ganancia.

En lo que respecta al equipo alimentador de potencia, también se incluyen los cables de cobre para la alimentación del equipo repetidor y los ecualizadores, así como de los equipos de monitorización para la parte submarina.

A continuación, se presentan los componentes principales para establecer dicha conexión y sus costos (tabla V).

Tabla V. Costos de material y equipo

Equipo	Costo \$
Sistema TSSL	1,700,000.00
TeraWave.....	
o Cable (fibra óptica)	
o Repetidores	
o Unidades de ecualización de ganancia	
o Unidades de interruptor de potencia de ramificación	
o Equipo de alimentador de potencia	
o Equipo de línea de transmisión	
o Equipo de jerarquía digital sincrona (SDH)	
o Sistema de monitorio de línea	
o Equipo administrador de la red submarina	
o Sistema administrador SDH	
o Equipo de sincronización	
o Diseño sobre el cable par voz sobre protocolo de Internet	
Equipo de prueba/monitoreo para la estación de cable.....	1,937,710.00
Total	3,637,710.00

4.2. Costo de mano de obra

La primera gran inversión durante la instalación es hacer un sondeo marítimo, lo que requiere contratar un barco por cinco semanas para estudiar el fondo del mar, en una franja de mil metros alrededor del trazado teórico, a fin de determinar con exactitud su textura, profundidad, pendiente, corrientes, flora, etc. con los cuales fijar exactamente por dónde debería pasar el cable. Una vez preseleccionada la ruta, es necesario un barco especializado que mida la dureza del fondo a lo largo de esa línea óptima seleccionada dentro de la franja

estudiada. Con lo anterior, ya se tienen todos los datos para el diseño del cable que se debe tender, así como el presupuesto resultante.

En el momento en que se tiene la certeza acerca de la instalación del cable (que va enterrado en el fondo del mar), se debe asegurar que no hay en el trazado ni restos metálicos ni cables en desuso ni otro tipo de obstáculos que pudieran impedir una instalación impecable. Por ello, antes del barco cablero, pasa un barco "chatarrero" que limpia el camino cortando, si hace falta, viejos cables en desuso. El cable submarino debe enterrarse tanto como sea posible esto con el doble propósito de protegerle de accidentes y asegurarle una larga vida. Enterrar un cable submarino es tarea compleja, ya que el fondo no es tan plano como se imagina. Si, además, se quiere enterrarlo ahí en donde se indicó, se debe contar con un barco que mantenga su rumbo con gran precisión y un arado (así lo llaman) capaz de depositar el cable, sin tensiones, en el fondo de un surco que él mismo ha abierto. Un ejemplo de esto es el *Skandi Neptune*, una de las naves más modernas, el casco se fabricó en Polonia, se aparejó en Noruega y se equipó en Inglaterra y en Francia.

Un cable submarino es una instalación costosa que requiere un mantenimiento preventivo continuo y un mantenimiento correctivo inmediato en caso de un accidente. Ello requiere costosos seguros que sólo se dan luego de una inspección detallada del cable y de su instalación. La inspección y, en su caso, el enterramiento puntual de alguna parte defectuosa (PLIB) lo hace otro barco especializado que cuenta con robots submarinos que detectan y siguen el trazado del cable para asegurar que está bien enterrado, en caso de haber fallado algo, entierran con herramientas especializadas las partes que lo requieran.

Por ejemplo, para la instalación del tramo de Boca Ratón-Puerto Barrios se utilizó una flota de barcos pertenecientes a Tyco Telecommunications y junto con esa flota hay un barco insignia llamado "Tyco Resolute". Todo esto para la instalación y mantenimiento del cableado de fibra óptica. El contrato que cubre la instalación y el mantenimiento de dicha infraestructura tiene alrededor de un valor estimado de \$2,555,810,144.

4.3. Costos de capital

La inversión necesaria para la implementación de dicho enlace de fibra submarina es la suma de todos los gastos de equipo, de instalación y mantenimiento del cableado, así como la contratación de personal para la operación de equipo de monitoreo, operación del equipo principal para las transmisiones y su mantenimiento. A esto se le llama costo de capital, es decir, la primera inversión hecha para establecer un enlace de ese tipo, la cantidad a la que puede llegar para establecer un enlace, se estima en \$2,559,447,854.

5. COSTOS DE UN ENLACE SATELITAL ENTRE BOCA RATÓN-PUERTO BARRIOS

5.1. Costos de material y equipo

Para establecer una instalación satelital se necesitan los siguientes componentes:

- Satélite
- Antena
- Amplificador de Potencia (HPA)
- Amplificador de Bajo Ruido (LNA)
- Conversor de subida/bajada
- Códec
- Paquetes de audio y video
- Módem satelital

A continuación, la tabla VI describe los costos de los correspondientes accesorios en una instalación satelital para el establecimiento de un enlace digital, en banda C.

Tabla VI. Costos de equipo

Equipo	Costo \$
Satelital	100,000,000.00
Antenas	25,400.00
Amplificador de potencia	18,300.00
Amplificador de bajo ruido	10,300.00
Convertor de subida/bajada	30,300.00
Multiplexor/switch satelital	85,000.00
Total	100,169,300.00

5.2. Costos de mano de obra

Esto se refiere a la inversión de infraestructura para el establecimiento del enlace satelital, con ello, se toma en cuenta el cableado y al material utilizado, así como el personal necesario y el lanzamiento del satélite descrito en la tabla VII.

Como dato adicional, el mantenimiento de un satélite en la órbita geoestacionaria, está alrededor de los \$40,000,000.

Tabla VII. Costos de mano de obra

Mano de obra	Costo \$
Creación de la infraestructura	13,000.00
Instalación del equipo	50,500.00
Lanzamiento satelital	90,000,000.00
Total	90,063,500.00

5.3. Costo de capital

En la realización de un enlace satelital, la suma de todos los costos para su realización de llama costo de capital, es decir, la primera inversión necesaria para establecer dicho enlace. Aquí se puede hablar desde la compra de terreno en donde se establecerá la terminal receptora, la infraestructura necesaria, costos de instalación del equipo y monitoreo, compra, lanzamiento y seguro del satélite, etc. El costo total para un enlace satelital es estimado en \$230,232,800.

6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS

6.1. Análisis comparativo del capital

El uso de un enlace de cable de fibra submarina sigue en aumento, debido a los beneficios que ésta presta. La inversión de capital que se necesita para su establecimiento es muy alta, la recuperación de la inversión hecha se estima en un plazo de 8 años, para luego empezar a obtener ganancias.

Pero hay que tener en cuenta otro factor, que es el de la demanda de servicios. El incremento de la desregulación del mercado de las telecomunicaciones en Latinoamérica y la necesidad de acceso de banda ancha hasta la última milla han sido el generador de implementación de este tipo de enlace. Según la compañía Consultora "The Yankee Group", la demanda de capacidad para las comunicaciones entre Latinoamérica y Estados Unidos crecerá desde el 2001 al 2006 aproximadamente con una tasa anual compuesta de alrededor del 68 % (desde 110 a 1,494 Gb/s).

Para un enlace satelital, la inversión de capital también es muy alta y sus servicios van enfocados más allá de aquellos que la fibra no puede prestar, sin embargo, la tasa de transmisión es menor, comparada con una de fibra óptica. La recuperación de la inversión de este tipo de enlace se estima en 5 años, y luego ya se obtienen las ganancias de la inversión.

Ciertamente, muchos operadores del satélite geosíncrono reportan márgenes de ganancia de 80 por ciento (fuente: *Telegeography*). América Latina es el área de más rápido crecimiento en lo que a usuarios de Internet se

refiere. Según un estudio de *Jupiter Communications*, prevé que, la región tendrá alrededor de 47,5 millones de usuarios. Lo que significa que las transmisiones por satélite de banda ancha tendrán la oportunidad en el área, en donde la infraestructura no llegó en todos los rincones.

6.2. Análisis comparativo de los servicios que se va a prestar

En cuanto al costo de transmisión de información entre los dos enlaces se tiene una gran diferencia. A continuación, se muestra la tabla VIII, con la información de los costos por Kbit transmitido usando como medio de transporte la fibra óptica, que los proveedores de ISP de banda ancha ofrecen.

Tabla VIII. Proveedores de ISP banda ancha en fibra óptica

Empresa	64 Kb/s	128 Kb/s	256 Kb/s	512 Kb/s	1 Mb/s	2 Mb/s
Al-π		45.39	47.70	87		175.28
Euskaltel		44.13	49.18	85.75		172.76
Reterioja		46.77	49.26			

Según un ejemplo de las transmisiones de 2Mb/s, con un promedio de las tarifas, la media es de \$0.087 por Kb/s transmitido, con una cantidad de usuarios de alrededor de 4,000.

La tabla VIII, muestra las tarifas de conexiones a través del enlace satelital, de proveedores de ISP de banda ancha.

Tabla IX. Proveedores de ISP banda ancha satelital

Empresa	64 Kb/s	128 Kb/s	256 Kb/s	512 Kb/s	1 Mb/s	2 Mb/s
Filnet				377	503	881
Terra			119		840	
SatMex					892	1,602

En el caso para el enlace satelital en 2 Mb/s, con un promedio de las tarifas, la media es de \$0.62 por Kb/s transmitido, con una capacidad aproximada de 500 usuarios.

Con esto se puede observar lo que cuesta al usuario obtener la misma velocidad de transmisión en cada enlace. Así pues, los precios están sujetos a las condiciones y/o características que cada medio tiene, como por ejemplo el mantenimiento de las mismas, en las cuales difieren los costos que conlleva hacerlos.

6.3. Análisis comparativo en torno a la distancia del enlace

Para el establecimiento de un enlace de cable de fibra óptica, el costo por kilómetro de cableado en el caso de Boca Ratón-Puerto Barrios se estima en \$1,500,000. Ahora bien, como la distancia del enlace es de 1,752 Km el total sería de \$2,559,447,854.

Obviamente, el establecer un tramo más largo, incurriría en más gastos para el establecimiento del enlace, como el caso de una conexión terrestre atravesando el territorio guatemalteco. A diferencia de la otra alternativa como sería establecer un enlace satelital, éste solo tiene una limitante, el rango de cobertura que tiene el satélite. Dentro de este rango, la estación terrestre puede moverse a cualquier sitio, sin afectar el costo final.

CONCLUSIONES

1. La implementación de DWDM, ha significado un gran avance en la reducción de costo del canal transmitido en un cable de fibra óptica submarina.
2. El transporte de todo tipo de información que pueda ser troncalizada entre países por cable de fibra óptica submarina, resulta de menor costo que la realizada por satélite.
3. La evolución de las redes de fibra óptica se orienta actualmente a redes totalmente ópticas (Gateway óptico, Cross Connect), dejando así al sistema satelital para otras aplicaciones.
4. La ventaja que tiene un enlace satelital es la conexión inalámbrica y lo mantendrá la demanda de servicios como la telemetría, GPS, topografía, sistemas de información de patrones del tiempo y señales de TV.

RECOMENDACIONES

1. En un diseño como el del cableado de fibra óptica submarina, se deben tomar en cuenta el crecimiento de la demanda de ancho de banda, para predecir futuras ampliaciones o mejoras del sistema.
2. Establecer un estudio sobre los tipos de fibras ópticas que van a ser utilizadas en un enlace de larga distancia, para la implementación de futuros métodos de transmisión o en el caso de incorporación de equipos de última generación.
3. En el caso de establecer un enlace satelital, para obtener un ancho de banda más grande y mayor capacidad de transmisión de datos se debe utilizar un satélite digital de haz concentrado. Aún así, no se compara con el ancho de banda que proporciona una fibra óptica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arias, Marisol y otros. **Cable Submarino**. Ing. Civil Industrial. Chile, Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería. Junio 2001 50 p.
2. Bells Labs Technical Journal, "**Practical Vision for Optical Transport Networking**", January- March 1999. 150 p.
3. Caballeros Barrillas, Carlos Willy, Análisis Técnico- Económico para el uso de transmisión vía satélite. Tesis Ing. Mecánica Eléctrica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1993. 131p.
4. *Fiber Optics*; [http:// www.fiberoptics.info](http://www.fiberoptics.info); Octubre 2003.
5. Herrera, Enrique, **Introducción a las telecomunicaciones modernas**. México: Editorial Limusa, 1998. 277 p.
6. Herrera, Enrique, **Tecnología y redes de transmisión**. México: Editorial Limusa, 1999. 283 p.
7. Kartaloupoulous, Karl A., **DWDM Data In A Rainbow**. New York: IEEE press. 2001, 243 p.
8. Miranda, Mario Alberto. Sistema de acceso satelital múltiple conmutado usando T.D.M. Tesis Ing. Electrónica. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 1998. 119 p.
9. Montenegro González, Rony Humberto. Diseño de un enlace satelital entre cerro Niktun, Peten y el aeropuerto de Toncontín de Tegucigalpa. Tesis Ing. Mecánica Eléctrica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1998. 122 p.
10. Ramírez Estrada, Juan José. Proyecto de instalación de un cable submarino de Centro América a Florida (EEUU). Tesis Ing. Eléctrica, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 1983. 94 pp.
11. Revista Conectrónica; [http:// www.conectronica.com](http://www.conectronica.com); Enero 2004.

12. Revista de Telecomunicaciones de Alcatel, 3 trimestre del 2000. 129 p.
13. Rodríguez García, Ingrid Salomé. El uso de multiplexación por división en longitud de onda en la ampliación de capacidad de enlaces ópticos: Descripción funcional y análisis de factibilidad. Tesis Ing. Electrónica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000. 83 p.
14. Rosado, Carlos, **Comunicación por satélite**, México: Editorial Limusa, 1999. 490 p.
15. Telegeography, Inc., The Authoritative Source For International Telecom Statistics and Analisis; [http:// www.telegeography.com](http://www.telegeography.com); Noviembre 2003.
16. TYCO Manual – HPOE, F.O.S. 190 p.