

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LAS REDES DE TRANSMISIÓN  
ÓPTICAS APLICADAS A LOS SISTEMAS DE CABLE  
SUBMARINO Y REDES METROPOLITANAS**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:**

**JOSE LUIS MOSCOSO ARROYO**

**PROMOCIÓN  
2003 - I**

**LIMA – PERÚ  
2006**

**NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LAS REDES DE TRANSMISIÓN  
ÓPTICAS APLICADAS A LOS SISTEMAS DE CABLE  
SUBMARINO Y REDES METROPOLITANAS**

Dedico este informe a Dios, por su ayuda constante, a mi familia por el cariño y soporte que siempre me han dado y , a mi pareja y amigos por compartir mis metas.

## SUMARIO

Las Redes Ópticas en los últimos años se han convertido en la esperanza para el futuro de las telecomunicaciones por su amplia flexibilidad de uso tanto en capacidad como en su entorno de aplicación. Es así que en este informe primero mostramos los diferentes ámbitos de uso, luego mostramos la tendencia hacia donde apuntan en los próximos años los fabricantes de tecnologías, mostrando en cada caso las ventajas y desventajas en su aplicación.

Es muy importante tener claro el gran aporte que ha proporcionado la tecnología DWDM para el desarrollo de las comunicaciones a través de la fibra, es así que también en la segunda parte mostramos su aporte tanto en los sistemas de cable terrestres como submarinos, siendo este último el analizado en mayor detalle, pues es que ha tenido una mayor explosión comercial y tecnológica en los últimos años a nivel mundial.

En la tercera parte analizaremos los problemas y soluciones encontradas por los proveedores y fabricantes al transmitir 80 Gbits/s sobre los sistemas de cable submarino. Estos impulsaron el uso de nuevos equipos y técnicas de modulación. En el cuarto capítulo se analiza el mercado global de las empresas envueltas en los sistemas de cable submarino, tanto fabricantes como portadores. Se indican los escenarios posibles en los próximos años.

Como última etapa del trabajo es importante tomar en cuenta el papel que han tomado recientemente las redes ópticas metropolitanas. No es suficiente tener un sistema muy potente de transmisión entre 2 ciudades, si el lazo local en cada extremo no está desarrollado como para no afectar la tasa de transmisión que llega de los sistemas troncales. Aquí el empleo del CWDM es vital por su economía (comparada al DWDM) y facilidad de uso en este tipo de entornos metropolitanos.

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>CAPITULO I LAS REDES ÓPTICAS</b>	3
Arquitectura Jerárquica de las Redes Ópticas	3
Redes de Transporte de Banda Ancha	3
Redes Metropolitanas	5
Redes de Acceso	6
DWDM en las Redes Ópticas (Dense Wavelength Division Multiplexing)	7
Diferentes Generaciones de Redes Ópticas DWDM	9
Actualidad y Futuro de las Redes Ópticas	11
Control de Red Basado en IP	12
Mejoras en el estándar SONET	14
Evolución del modelo de capas para Redes Ópticas	15
Arquitecturas de red IP	16
Ventajas y Desventajas de las distintas Opciones de evolución de las Redes Ópticas:	18
Evolución por defecto, continuación de la red actual sin cambiar su filosofía.	18
Red GMPLS, o integración de la transmisión óptica con la capa IP.	20
Red completamente Óptica	22
<b>CAPITULO II REDES ÓPTICAS TERRESTRES Y SUBMARINAS</b>	25
DWDM en Redes Ópticas de Banda Ancha Terrestre	25
Necesidad de las Tecnologías Comunes en las Aplicaciones Terrestres y Submarinas	25
Situación de los sistemas DWDM de largo alcance terrestres	27
Redes Ópticas Submarinas	33
Acerca de las Redes Submarinas de Fibra Óptica	33
Importancia de las Redes Submarinas de Fibra Óptica.	37
La Evolución en Sistemas de Comunicación Submarinos	38

<b>CAPITULO V REDES ÓPTICAS METROPOLITANAS</b>	128
Redes ópticas metropolitanas basadas en tecnología DWDM	128
Implantación de DWDM en las redes metropolitanas	129
Análisis Económico de la Factibilidad de CWDM en Redes Metropolitanas	130
<b>CONCLUSIONES</b>	134
<b>ANEXO A CABLES SUBMARINOS Y SU EVOLUCIÓN</b>	137
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	143

<b>CAPITULO V REDES ÓPTICAS METROPOLITANAS</b>	128
Redes ópticas metropolitanas basadas en tecnología DWDM	128
Implantación de DWDM en las redes metropolitanas	129
Análisis Económico de la Factibilidad de CWDM en Redes Metropolitanas	130
<b>CONCLUSIONES</b>	134
<b>ANEXO A CABLES SUBMARINOS Y SU EVOLUCIÓN</b>	137
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	143

## INTRODUCCIÓN

Estamos inmersos en la Tercera Revolución Industrial, una revolución que muchos expertos han caracterizado por haber creado una sociedad donde el impacto de diferentes tecnologías, en especial de la informática y de las telecomunicaciones han automatizado progresivamente el aparato material e intelectual que origina la economía, la cultura, la sociología y la psicología individual.

Esta tercera revolución científico técnica está marcada por la red de redes, Internet, en este sentido el empleo de las redes ópticas han jugado un papel primordial ofreciendo un conjunto de elementos físicos, lógicos, y operativos y contractuales orientados a mejorar la transmisión, recepción, almacenamiento y modificación de la información, con independencia de las características y/o naturaleza de la misma.

El presente trabajo en este sentido expone en una primera parte una visión general de las redes ópticas, presentando sus diferentes entornos de aplicación: Local de acceso, Metropolitano y Troncal (CORE). Luego exponemos las ventajas y desventajas de las diferentes tendencias de desarrollo de la tecnologías, es decir GPMLS, IP sobre redes ópticas o redes ópticas transparentes. En la segunda parte de este trabajo presentamos las redes ópticas terrestres y con especial detalle a las submarinas. Aquí se muestran los trabajos relacionados a la implementación de los sistemas ópticos de transmisión submarinos, los elementos tecnológicos envueltos tanto en el funcionamiento como el mantenimiento de las redes.

En la tercera parte del presente informe se presentan los retos encontrados al emplear, desde hace muy poco, las capacidad de transmisión sobre los 80Gb. Si bien estos sistemas de transmisión están pronosticados a transportar hasta 1.92Tbits/seg, el hecho de transportar los 80Gb. significó toda una etapa de cambios en elementos hasta entonces considerados óptimos, como es el caso de los repetidores ópticos dopados en erbio y la aparición de los amplificadores Raman.

En definitiva es necesario disponer de una red óptica singular, escalable, flexible y dotada de los últimos avances tecnológicos para el transporte de comunicaciones, con una altísima capacidad de transmisión y que permite a todos los agentes que lo deseen, tener una red de altas prestaciones sin incurrir en los grandes costes de propiedad inherentes a una red basada en equipos propios.

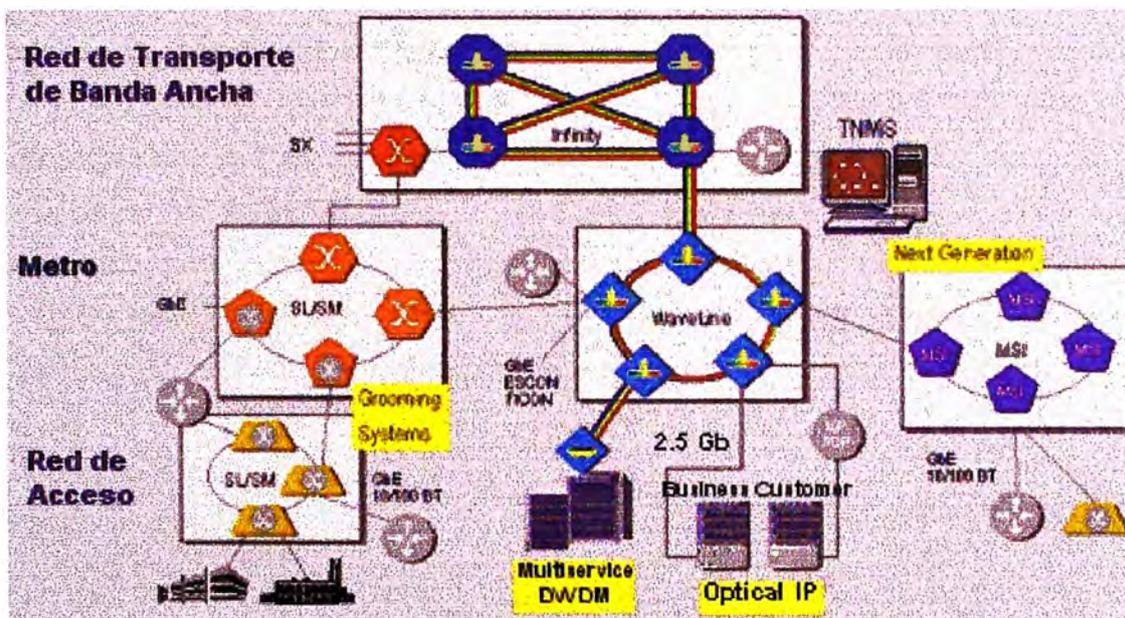
En este trabajo nos basamos en los resultados técnicos y de mercado obtenidos por las empresas líderes, tanto fabricantes como proveedores de servicios de Telecomunicaciones. Por otra parte es importante reconocer el apoyo recibido para el desarrollo de este Informe del Ing. Alfredo Rodríguez (Profesor de la UNI), Ing. Ronnie Gonzales (Administrador del Sistema de Cable Panamericano) y el Ing. Raul Benites (Asesor del Informe de Suficiencia), que con sus consejos y sugerencias me impulsaron a desarrollar el tema que expongo a continuación.

# CAPITULO I

## LAS REDES ÓPTICAS

### 1.1 Arquitectura Jerárquica de las Redes Ópticas

La jerarquía de red óptica se ilustra en la **figura 1.1**, donde se pueden observar los distintos segmentos o dominios de red que la conforman: redes de Transporte de Banda Ancha, redes metropolitanas y redes de acceso. A continuación analizaremos más en detalle las características de cada uno de estos segmentos de red.



**Fig. 1.1 Jerarquía de las Redes Ópticas**

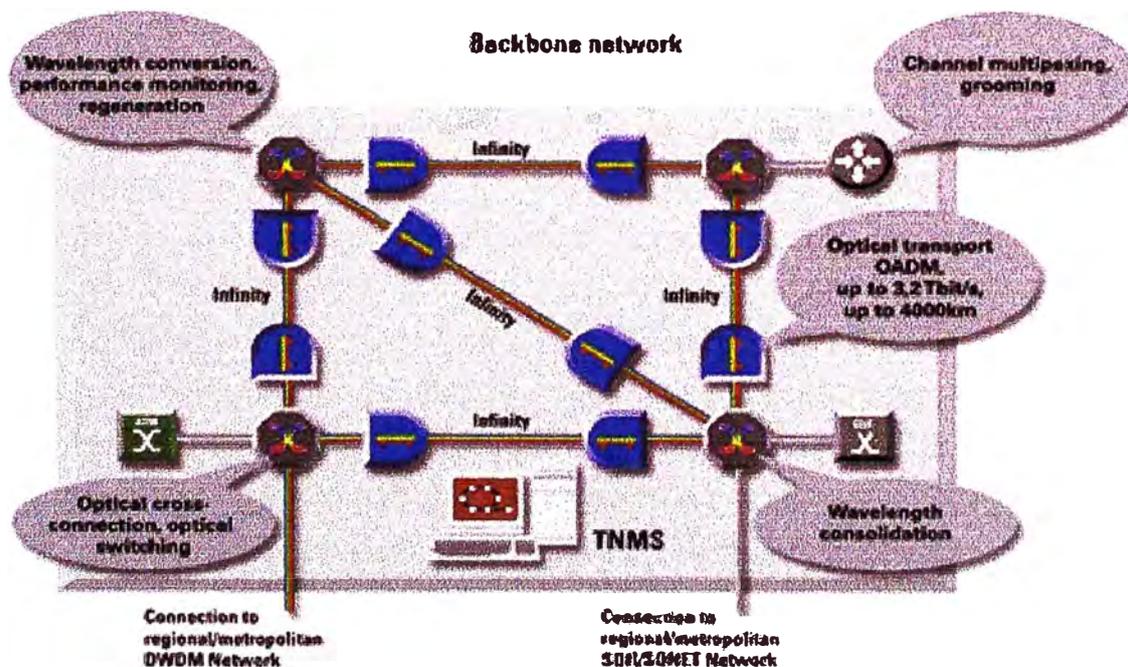
#### 1.1.1 Redes de Transporte de Banda Ancha

Las nuevas aplicaciones de Internet están creando dimensiones de ancho de banda de backbone que eran inconcebibles hasta hace pocos años.

Con esto en mente, las nuevas plataformas ópticas de alta capacidad recolectan el tráfico de áreas regionales o metropolitanas, acomodan los servicios de gran ancho de banda. Las redes de transporte de banda ancha pueden cubrir distancias geográficas de miles de kilómetros, enlazando entre sí las distintas redes metropolitanas y extendiendo a su vez la conectividad entre dominios regionales. Dada la gran capacidad de transporte que requieren este tipo de redes, el esquema tradicional basado en SONET/SDH tuvo que sustituirse por un despliegue de tecnología DWDM a gran escala. Al mismo tiempo, las

vez la conectividad entre dominios regionales. Dada la gran capacidad de transporte que requieren este tipo de redes, el esquema tradicional basado en SONET/SDH tuvo que sustituirse por un despliegue de tecnología DWDM a gran escala. Al mismo tiempo, las distancias de transmisión tan elevadas y el gran número de canales ópticos provoca la aparición de múltiples efectos no lineales y degradaciones de las señales. En muchos casos se requiere conversión optoelectrónica (OE) y regeneración electrónica para mantener una calidad de señal y una tasa de errores aceptable, lo cual se encuentra enfrentado con los planteamientos de las redes ópticas transparentes. Como resultado de todo esto, las soluciones de largo alcance son muy costosas y representan inversiones estratégicas de larga duración.

Sin embargo, la mejora de las diferentes tecnologías empleadas (fibras, amplificadores ópticos, filtros y elementos compensadores de dispersión) está permitiendo incrementos notables de la capacidad de transmisión y la migración hacia arquitecturas de red multilongitud de onda con velocidades del orden de los Terabits. Las redes de largo alcance continúan evolucionando con cada nueva generación de mejoras DWDM, convirtiéndolas en más robustas, eficientes y económicas. Así, las redes de nueva generación serán capaces de desarrollar mecanismos flexibles de protección, conmutación y enrutamiento. Y para ello es necesario también que el escalón inferior (redes metropolitanas) sea eficiente y robusto.



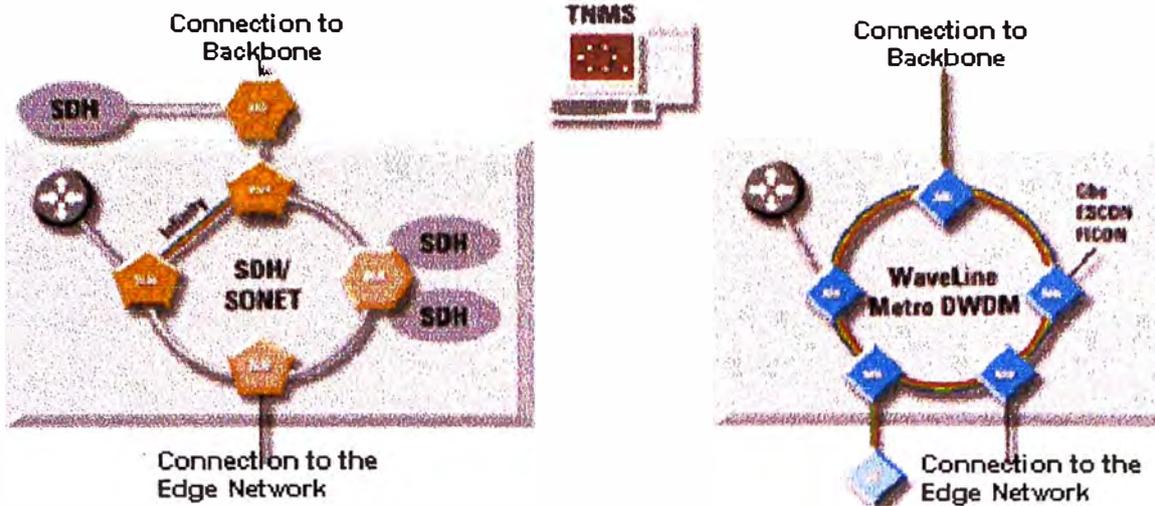
**Fig. 1.2 Redes Ópticas de Transporte de Banda Ancha**

### **1.1.2 Redes Metropolitanas**

Las redes metropolitanas (**figura 1.2**) son ambientes heterogéneos, entonces, una solución metropolitana debe satisfacer un amplio rango de requerimientos de servicio. Los servicios típicos metropolitanos usan una variedad de formatos de datos (por ejemplo, GEthernet, SDH) con tasas de datos entre rangos de 2 Mbps hasta varios Gbps. Bajo estas circunstancias, se requiere una plataforma verdaderamente escalable y flexible para asegurar un servicio rápido y confiable.

Las redes ópticas metropolitanas cubren distancias de cientos de kilómetros, proporcionando servicio a grandes áreas metropolitanas. Constituyen el segmento de enlace entre las redes de acceso y de largo alcance, interconectando todo un abanico de protocolos de cliente y de velocidades de canal. Las redes metropolitanas se guían por dos factores clave: los requisitos de cliente y la tecnología para satisfacer estos requisitos. Para ello, los proveedores de servicio desplegaron inicialmente la tecnología SONET/SDH empleando topologías punto a punto y anillos de ADMs. Sin embargo, en la actualidad las redes metropolitanas están experimentando una rápida metamorfosis como consecuencia de los correspondientes cambios en los dominios de acceso y de largo alcance.

La explosión de capacidad producida en los enlaces de largo alcance DWDM, unido a la creciente demanda de ancho de banda IP coloca a las redes metropolitanas en una encrucijada. La infraestructura actual basada en TDM presenta problemas para conseguir la eficiencia y flexibilidad que necesitan los clientes, en concreto limitaciones para escalar la capacidad e ineficiencia frente al tráfico de ráfagas impredecibles. Teniendo en cuenta estas cuestiones, se requiere una migración hacia una arquitectura ultraescalable y de mayor capacidad. Los proveedores de servicio necesitarán este tipo de soluciones en un mercado competitivo donde el coste, la diferenciación de servicios (QoS, quality of service, y SLA, service level agreement) y la capacidad bajo demanda se convertirán en claras ventajas competitivas. En este sentido, la arquitectura basada en CWDM es la solución más económica para crear redes ópticas metropolitanas con escalabilidad de ancho de banda, flexibilidad, multitud de servicios y capacidad de gestión. En definitiva, el mercado de las redes ópticas metropolitanas plantea interesantes retos y oportunidades tanto para los vendedores de equipos como para los proveedores de servicio.

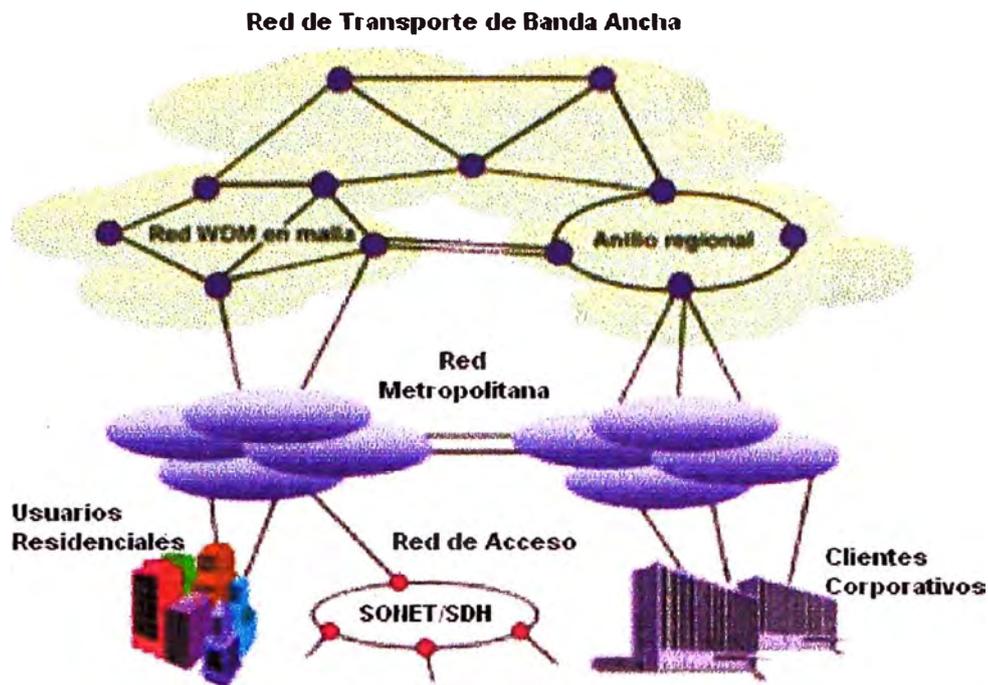


**Fig. 1.3 Redes Ópticas Metropolitanas**

### 1.1.3 Redes de Acceso

Las redes de acceso (**figura 1.3**) se caracterizan por una gran variedad de protocolos e infraestructuras, y por lo tanto también de velocidades: DS1, DS3, OC-3, OC-12, Ethernet a 10 Mbit/s, ESCON a 200 Mbit/s, OC-48 y OC-192. Se encargan de concentrar el tráfico de un gran número de usuarios de Internet residenciales y de grandes corporaciones: empresas privadas, organismos gubernamentales, instituciones educativas, etc. Para soportar esta diversidad de clientes, las redes de acceso deben manejar un conjunto de aplicaciones basadas en multitud de protocolos. Entre los diferentes protocolos se encuentran: IP, ATM, SONET/SDH, Ethernet/Fast Ethernet/Gigabit Ethernet, voz multiplexada en TDM, vídeo digital, FDDI (Fiber Distributed Data Interface), ESCON (Enterprise System Connectivity) y Fibre Channel.

Este segmento de mercado ofrece oportunidades muy dinámicas e impredecibles. Estas oportunidades provienen de aplicaciones finales de usuario y tecnologías de acceso mejoradas de alta velocidad, tales como DSL (Digital Subscriber Line), módems de cable o servicios inalámbricos emergentes como LMDS. No obstante, está claro que el tráfico IP continuará en aumento, y este hecho representa muchos factores a tener en cuenta debido a la naturaleza asimétrica e impredecible de los perfiles de tráfico basados en Internet. En general, las redes de acceso se guían por dos cuestiones clave: diversidad de aplicaciones y flexibilidad de arquitecturas. Además, un factor clave que requieren los proveedores de servicio para el desarrollo de redes de acceso eficientes es la "transparencia". De este modo, los vendedores que proporcionen plataformas transparentes frente a múltiples servicios y que simplifiquen las redes, ganarán el mercado.



**Figura 1.4 Entornos de Aplicación de las Redes Ópticas**

Dentro del alcance de este informe nos centraremos en el análisis de las redes transporte de banda ancha submarino, así como de las redes metropolitanas.

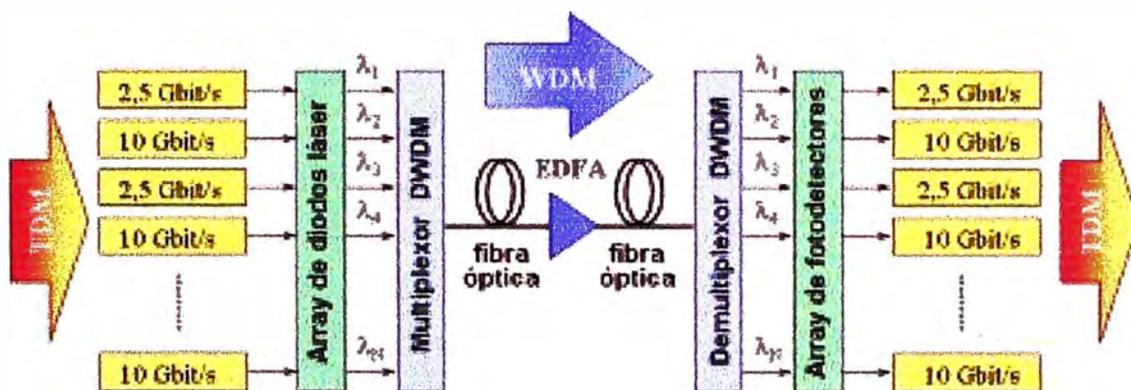
## 1.2. DWDM en las Redes Ópticas (Dense Wavelength Division Multiplexing)

La introducción de nuevos servicios de valor añadido tales como vídeo bajo demanda o aplicaciones multimedia requiere de una gran cantidad de ancho de banda para satisfacer las necesidades de los usuarios. Las soluciones que tienen los proveedores de servicio para satisfacer este aumento de la demanda de tráfico son diversas. Por una parte pueden instalar más fibra, aunque ésta es una solución cara y en algunos casos inviable. Otra solución consiste en utilizar técnicas de multiplexación por división en el tiempo (TDM), donde el aumento de capacidad se consigue por medio de ranuras de tiempo más pequeñas que permiten transmitir mayor cantidad de bits (datos) por segundo. Esta tecnología ha sido utilizada en las redes de transporte basadas en los estándares SDH/SONET.

No obstante, el principal problema al que se enfrentan los proveedores de servicio es el relacionado con el salto a una capacidad mayor. Basándose en la jerarquía SDH, la capacidad inmediatamente superior a los 10 Gbit/s son los 40 Gbit/s, por lo que se obtiene más capacidad de la que pudiera necesitarse en un principio, con el

correspondiente desembolso económico pues hay que actualizar todos los transmisores y receptores del sistema.

Finalmente, la tercera alternativa consiste en DWDM, (**figura 1.5**) que permite aumentar de una forma económica la capacidad de transporte de las redes existentes. Por medio de multiplexores, DWDM combina multitud de canales ópticos sobre una misma fibra, de tal modo que pueden ser amplificados y transmitidos simultáneamente. Cada uno de estos canales, a distinta longitud de onda, puede transmitir señales de diferentes velocidades y formatos: SDH/SONET, IP, ATM, etc. Es decir, DWDM puede multiplexar varias señales TDM sobre la misma fibra. En la actualidad en el Perú las redes DWDM transportan 32 canales OC-48/STM-16 de 2,5 Gbit/s (un total de 80 Gbit/s), se espera que muy pronto se llegue a emplear 40 canales OC-192/STM-64 de 10 Gbit/s (un total de 400 Gbit/s), la capacidad equivalente a unos 90.000 volúmenes de enciclopedia por segundo. A diferencia del sistema WDM convencional, en este caso todas las portadoras ópticas viajan por la fibra con separaciones inferiores a 1 nm.



**Fig. 1.5 Esquema de un Sistema de Multiplexación DWDM**

Una de las principales ventajas de los sistemas DWDM es su modularidad, la cual permite crear una infraestructura conocida como "grow as you go", que se basa en añadir nuevos canales ópticos de forma flexible en función de las demandas de los usuarios. Así, los proveedores de servicio pueden reducir los costes iniciales significativamente, al tiempo que desarrollan progresivamente la infraestructura de red que les servirá en el futuro.

Sin embargo, la revolución de los sistemas DWDM no hubiese sido posible sin las características clave de tres tipos de tecnología:

La capacidad que poseen los diodos láseres de emitir luz a una longitud de onda estable y precisa con un ancho de línea espectral muy estrecho.

El formidable ancho de banda de la fibra óptica (varios THz), el cual no ha sido aprovechado completamente durante mucho tiempo.

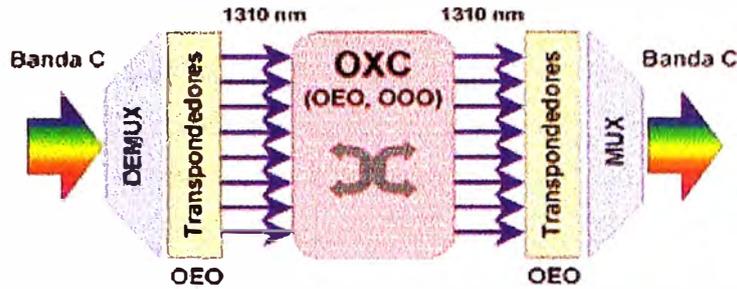
La transparencia de los amplificadores ópticos de fibra (EDFA) a las señales de modulación y su habilidad para amplificar de forma uniforme varios canales simultáneamente.

Los rápidos avances producidos en DWDM en los últimos años, junto con la creciente demanda de servicios de alta velocidad y gran ancho de banda, están provocando cambios sustanciales en las arquitecturas de las redes ópticas. Así, la tecnología DWDM se está expandiendo progresivamente desde el núcleo de las redes ópticas de alta velocidad hacia las redes metropolitanas y de acceso. Y todo ello provocado por el éxito alcanzado por las soluciones DWDM de largo alcance que han permitido un aumento espectacular en la capacidad de las redes ópticas de transporte.

### **1.2.1. Diferentes Generaciones de Redes Ópticas DWDM**

La primera generación de redes WDM surgió para aliviar el problema del agotamiento de capacidad de las redes SONET/SDH, consiste simplemente en combinar múltiples longitudes de onda en una misma fibra. El número de canales era pequeño (del orden de 16) y la protección se realizaba en las capas 2 ó 3.

La segunda generación de redes ópticas DWDM dobla el número de canales e introduce protección de anillo y OADMs estáticos, permitiendo que los proveedores de servicio proporcionen servicios basados en longitud de onda. Adicionalmente, las arquitecturas de red que emplean DWDM de segunda generación soportan interfaces multiservicio protegidos, tales como Gigabit Ethernet, ESCON y SONET/SDH. Si bien estas mejoras son enormes en comparación con las redes SONET/SDH convencionales, la segunda generación de redes posee limitaciones en cuanto a capacidad, coste, escalabilidad y gestión de red. La conmutación entre múltiples anillos metropolitanos se realiza de forma centralizada y las longitudes de onda se demultiplexan antes de ser conmutadas/enrutadas de forma individual. Esto da lugar a conmutadores con un gran número de puertos (por ejemplo, 1024 x 1024) para poder gestionar el tráfico entre anillos, resultando en costes elevados.



**Fig. 1.6 Crossconectores Ópticos en Banda C - OXC**

La mayoría de OXCs desarrollados en esta etapa realizan conversiones optoelectrónicas a la entrada y a la salida del conmutador debido a la falta de estándares de interconexión de longitudes de onda en entornos donde existen equipos de múltiples fabricantes. Estos conmutadores ofrecen una escalabilidad muy limitada y se convierten en una solución costosa debido a las funciones de demultiplexado, conmutación y remultiplexado que es necesario realizar (**figura 1.6**). Cada conversión requiere transmisores, receptores, fibras y conectores, aumentando el tamaño del conmutador y disminuyendo su fiabilidad. Luego conforme aumentan las capacidades de las redes, sólo los conmutadores todo ópticos proporcionan una correcta protección de las inversiones.

Finalmente, las redes ópticas de tercera generación se caracterizan por ofrecer gestión dinámica de las longitudes de onda directamente en el dominio óptico, proporcionando ventajas significativas con respecto a la segunda generación de redes. Asimismo, el número de canales es mayor y existe una monitorización de prestaciones más sofisticada que se realiza sobre cada canal óptico. Por medio de láseres sintonizables y filtros, junto con tarjetas de interfaz de múltiples velocidades, se puede realizar la gestión dinámica de longitudes de onda en el dominio óptico de una forma rápida y eficiente. Sin embargo, la clave para ganar clientes consiste en su habilidad para proporcionar nuevos servicios o cambiar la capacidad de los existentes de forma rápida.

En resumen, la tercera generación de redes DWDM proporciona conmutación de longitudes de onda directamente en el dominio óptico, teniendo en cuenta además todos los aspectos relativos a coste, escalabilidad y gestión. De este modo, en las áreas regionales y metropolitanas se proponen una serie de elementos que optimizan el funcionamiento de los anillos interconectados y de las redes en malla. Estos elementos consisten en conmutadores WXC's (wavelength cross-connects), OADMs configurables dinámicamente, transpondedores sintonizables y software de gestión avanzado para controlar la capa óptica. A diferencia de los crossconectores ópticos (OXC's), el WXC conmuta longitudes de onda individuales sin necesidad de demultiplexar el flujo DWDM,

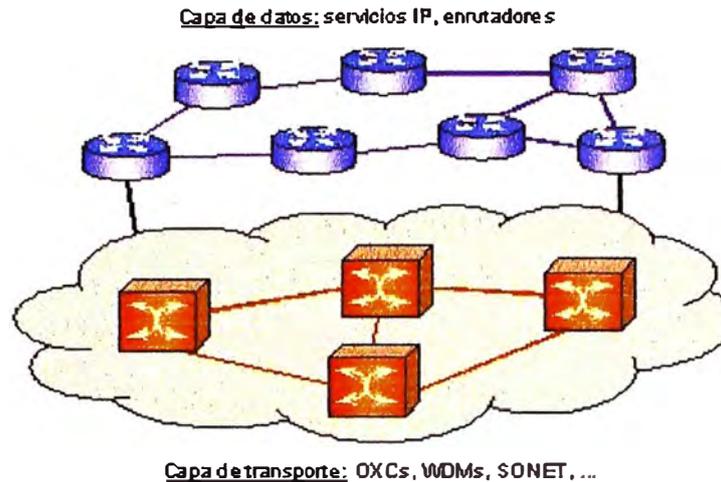
ahorrando gran número de costes y disminuyendo sustancialmente los requisitos de tamaño y consumo de potencia del conmutador.

Ahora cada longitud de onda puede enrutarse dinámicamente hacia cualquier nodo de cualquier enlace. De este modo, las redes pueden gestionar las diferentes rutas entre anillos interconectados o arquitecturas en malla. Adicionalmente, los mecanismos de protección de red pueden aprovecharse de estas funcionalidades para redirigir las diferentes longitudes de onda en caso de fallo de algún nodo o enlace.

### **1.3. Actualidad y Futuro de las Redes Ópticas**

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 están respondiendo al mercado cambiante con el fin de optimizar el funcionamiento de sus redes y los costes 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 MPLS (multiprotocol label switching). 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.

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 1.7**). 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 o los WXC's, 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 GMPLS (generalized multiprotocol label switching).



**Fig. 1.7 Modelo de red óptica basado en 2 capas.**

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 están llevando 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. A continuación analizaremos en profundidad todos estos factores que condicionan el escenario futuro de las redes ópticas.

### **1.3.1 Control de Red Basado en IP**

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 posteriormente a los enlaces de largo alcance.

La tecnología SONET/SDH está diseñada para tráfico de voz y es bastante costosa en relación con Ethernet, que está diseñada para datos. Adicionalmente, resulta compleja y poco flexible en relación con la implantación de nuevos servicios y capacidades. Por lo tanto, está claro que usar conmutadores Ethernet en lugar de multiplexores (ADMs) SONET/SDH reducirá considerablemente los costes. No obstante, existen diversos obstáculos para la adopción de la tecnología Ethernet, siendo el principal de ellos el relacionado con la fiabilidad y disponibilidad de red.

La tecnología SONET/SDH se diseñó inicialmente para redes troncales, por lo que posee mecanismos de disponibilidad y fiabilidad robustos basados en un alto nivel de redundancia tanto dentro como fuera de los equipos. En especial, las redes SONET proporcionan una disponibilidad del 99,999 %, que equivale a una caída de 5 minutos por año. En cambio, la tecnología Ethernet se diseñó principalmente para redes de empresa donde los requisitos de disponibilidad no son tan altos. En la tabla I se muestra una comparativa entre SONET y Ethernet.

**TABLA N°1.1 SONET frente a Ethernet.**

	<b>SONET</b>	<b>Ethernet</b>
Tasa de bit (bit/s)	155M, 622M, 2,5G, 10G, 40G, ...	1M, 10M, 100M, 1G, 10G, ...
Sincronización	Isócrono	Plesiócrono
Multiplexado	Bit	Paquete
Relojes	Comunes	Independientes
Jitter de reloj	4,6-20 ppm	100 ppm
Aplicación	Operadores de telecomunicación	Empresas
Recuperación	50 ms	Varios minutos
Topología	Anillos	Malla
Volumen	Millones	Cientos de millones
Precio (10 Gbit/s)	> 10.000	< 1.000

Precisamente 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 (GE) 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.

### **1.3.2 Mejoras en el estándar SONET**

Al tiempo que Ethernet se modifica para cubrir diversas funcionalidades de SONET con el fin de implantar el esquema IP sobre WDM, el estándar SONET también está sufriendo importantes cambios para adaptarlo al tráfico de datos. El principal problema del estándar SONET para la transmisión de señales de datos es su rígida estructura de tramas de tasa fija que son mucho más adecuadas para la transmisión de tráfico de voz que de ráfagas de datos. Así pues, algunas limitaciones que presenta son:

- Las tasas de línea son altamente discretas: las únicas disponibles son STS-3c (155 Mbit/s), STS-12c (622 Mbit/s) y STS-48c (2,4 Gbit/s), por lo que para tasas intermedias hay que escoger la tasa superior que puede ser excesivamente grande. Adicionalmente, estas tasas no encajan bien con las que se generan habitualmente en las redes de área local Ethernet. Por ello, para conectar dos Ethernet LAN a 100 Mbit/s se debe tomar STS-3c con el consiguiente desperdicio de un tercio del ancho de banda.
- GE emplea una codificación 8b/10b en la capa física, por lo que para interconectar dos Ethernet LANs remotas se requieren 2,5 Gbit/s. Luego por tan sólo 100 Mbit/s resulta necesario tomar un canal STS-48c completo para la transmisión de cada flujo GE.
- No se permite la división del tráfico y la transmisión multicamino, por lo que para enviar una señal de 100 Mbit/s no se pueden emplear dos rutas de 50 Mbit/s o STS-1.
- Dado que el tipo de tráfico que transporta cada trama SONET se indica únicamente con un bit de la cabecera, no resulta fácil mezclar distintos tipos de tramas en el interior de una trama SONET.

Para resolver en parte todas estas limitaciones, la nueva generación de SONET plantea las siguientes soluciones:

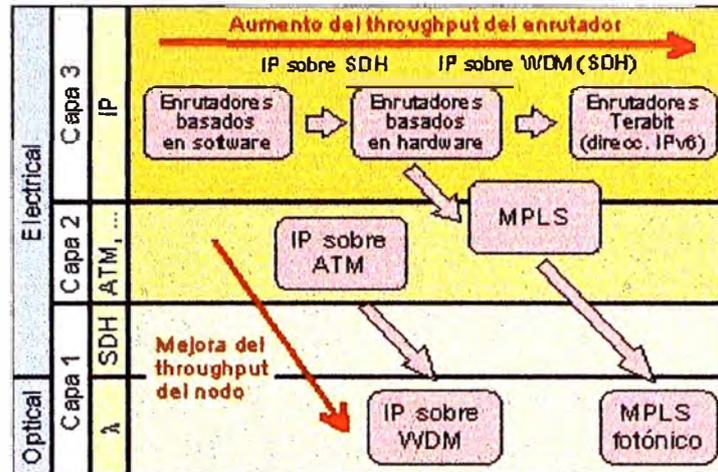
- Concatenación virtual: permite agrupar cualquier número de señales STS-1s ó T-1s como un único flujo SONET. Por ejemplo, dos señales STS-1s pueden combinarse para formar una señal STS-1-2v de 102 Mbit/s que sí que resulta adecuada para transmitir las tramas Ethernet de 100 Mbit/s. Al mismo tiempo,

también permite que las 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 (Generic Framing Protocol, 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 Gbit/s para la conectividad de su capa física y pueden transmitirse dos flujos GE sobre un enlace STS-48c.

### ***1.3.3 Evolución del modelo de capas para Redes Ópticas***

La **figura 1.8** muestra la evolución de los mecanismos de transporte de IP en relación con 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, pudiendo utilizarse diferentes tecnologías en la capa de enlace tales como ATM, Frame Relay, PPP, etc.



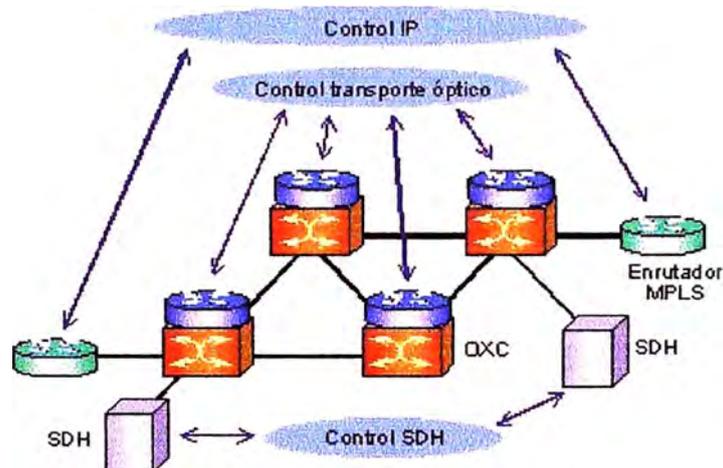
**Fig. 1.8. Desarrollos en la tecnología de red basada en IP.**

El siguiente paso en la evolución hace referencia a la capa óptica, encontrándose esquemas basados en IP sobre WDM y MPLS fotónico (**figura 1.8**). 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. En MPLS se añade una etiqueta de la capa 2 a cada paquete en el enrutador de entrada, la cual se va intercambiando tras cada enlace. En el caso de MPLS fotónico, se añade una etiqueta de longitud de onda a cada flujo de bits y cada paquete IP se acomoda en una determinada ruta de longitud de onda en el enrutador de entrada. El mecanismo de ruta por longitud de onda consiste en reservar una determinada longitud de onda para una ruta desde el enrutador de entrada hasta el de salida. Otra posibilidad consiste en una ruta de longitud de onda virtual, según la cual se cambia la longitud de onda tras cada enlace. Una de las principales diferencias entre MPLS y MPLS fotónico es que el primero permite unir etiquetas, mientras que el segundo no. Otra de las diferencias es que con MPLS fotónico el número de rutas disponibles por enlace está limitado a menos de 100, por lo que esta tecnología se aplicará inicialmente a redes troncales.

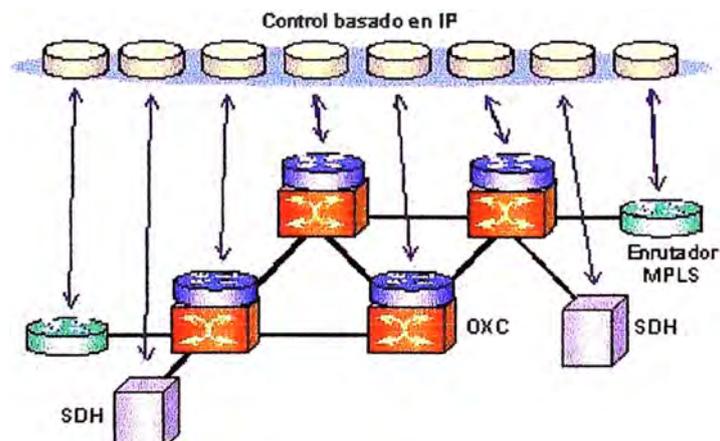
### **1.3.4 Arquitecturas de red IP**

Una vez visto el análisis previo podemos definir que para la provisión de servicios IP existen dos enfoques distintos: uno basado en OADMs y OXCs, y el otro basado en enrutadores IP. En el primer caso, se pueden proporcionar otros servicios además de IP desde la misma plataforma, incluyendo SDH/ATM. En el modelo de la **figura 1.9** las rutas ópticas proporcionan enlaces entre los enrutadores para la capa IP. La gestión de red

está basada en un modelo cliente-servidor donde la red IP es cliente de la capa de red óptica. Adicionalmente, no existe ningún intercambio de información de enrutamiento entre ambas capas. La topología de la capa de red óptica es invisible para la capa IP, por lo que el plano IP debe tener la capacidad de resolver direcciones o disponer de una base de datos de los puntos de finalización de las rutas ópticas. Este mecanismo de control es muy similar al existente en el esquema de IP sobre ATM. En el caso de un mecanismo de control distribuido, los OXCs y otros equipos se consideran como enrutadores IP virtuales, y tanto las redes de enrutadores IP como las redes ópticas utilizan protocolos de señalización y enrutamiento comunes como GMPLS. Es decir, los enrutadores IP y los OXCs tienen una función equivalente en el plano de control: todos los dispositivos se comportan como enrutadores IP. Este modelo de arquitectura se representa esquemáticamente en la **figura 1.10**.



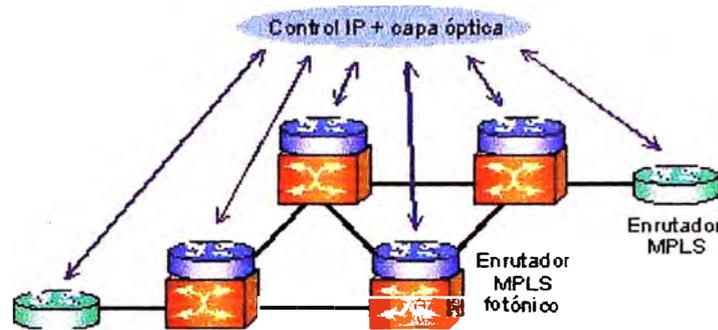
**Fig. 1.9. Arquitectura basada en OADM/OXCs: modelo "overlay".**



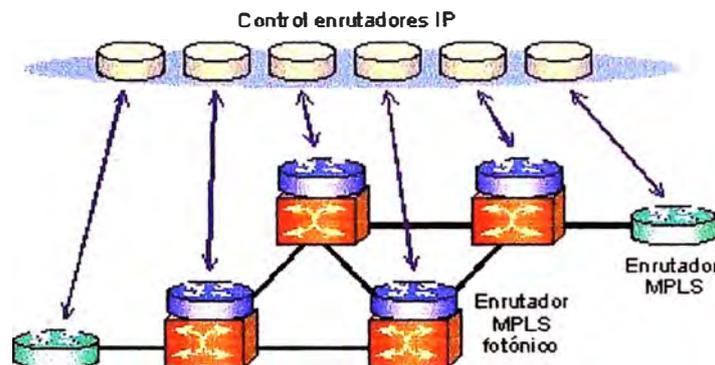
**Fig. 1.10 Arquitectura basada en OADM/OXCs: modelo "peer".**

En las redes basadas en enrutadores MPLS fotónicos también pueden plantearse sendos esquemas de control: centralizado y distribuido. No obstante, la ventaja en este caso es

que sólo se necesita una simple extensión de la jerarquía MPLS existente para realizar el control distribuido. Con este esquema, cada enrutador MPLS fotónico conoce la topología de red de la capa óptica y el estado de los enlaces. Las **figuras 1.11 y Fig. 1.12** muestran las arquitecturas para estas redes. La elección de un escenario u otro depende del campo de aplicación y de diversas variables: tipo de servicios a proporcionar (sólo IP u otros), propiedad de los equipos, segmentación de la gestión de red, etc.



**Fig. 1.11. Arquitectura basada en enrutadores MPLS fotónicos (control centralizado).**



**Fig. 1.12. Arquitectura basada en enrutadores MPLS fotónicos (control distribuido).**

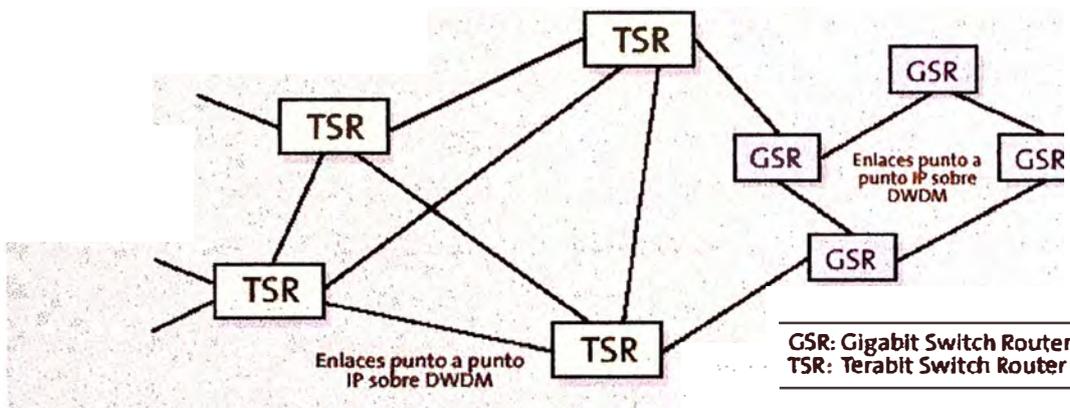
## 1.4 Ventajas y Desventajas de las distintas Opciones de evolución de las Redes Ópticas:

### 1.4.1 Evolución por defecto, continuación de la red actual sin cambiar su filosofía.

Consiste en dejar que la red de transmisión continúe creciendo a trozos, en función de las necesidades del momento. En este caso no se puede hablar de una red de transmisión, sino de un conjunto de enlaces ópticos independientes entre sí, que se van estableciendo para interconectar elementos de las redes de transporte. En el momento actual los elementos de red son básicamente *crossconnect* y ADM del tipo SDH. Un caso particularmente atractivo de evolución por defecto es el conocido como IP sobre DWDM. En este escenario la red de transporte es IP, y todos sus elementos de red son *routers*.

Dependiendo de su capacidad de direccionamiento de tráfico, reciben el nombre de *Terarouters* (TSR) o *Gigarouters* (GSR) para capacidades de terabit ( $10^{12}$  bit) o gigabit ( $10^9$  bit) por segundo, respectivamente. Asimismo, los *routers* se conectan entre sí mediante enlaces ópticos

DWDM punto a punto. En la red IP sobre DWDM, que se representa en la **Figura 1.13**, no se realiza ningún proceso a nivel óptico: el reencaminamiento y las funciones de protección se llevan a cabo a nivel eléctrico en los *routers*. Por consiguiente, si un paquete o conjunto de paquetes IP tienen que atravesar  $n$  *routers*, sufren  $n$  procesos de conversión optoelectrónica.



**Fig. 1.13. Ejemplo de evolución por defecto, red IP sobre DWDM**

#### a) Ventajas

La evolución por defecto tiene el atractivo de su simplicidad de planificación: no existe una capa óptica.

#### b) Desventajas

Por contra, a medida que el tráfico en las rutas sube a centenares de Gbit/s, las conversiones optoelectrónicas y de tránsito en los nodos intermedios obliga a aumentar de forma innecesaria el tamaño, consumo y número de los *routers*, así como la complejidad (y coste) de sus sistemas de gestión. Para corregir este problema, las otras dos evoluciones incluyen una capa de transmisión óptica pura, en la que el direccionamiento *grueso* se realiza a nivel óptico, que es muy simple y eficiente, y el *fino* a nivel eléctrico. La frontera entre *fino* y *grueso* la constituye la granularidad de la capa óptica: la portadora. En estos momentos el tráfico mínimo por portadora es 2,5 Gbit/s, correspondiente a una trama STM-16, y se contempla bajar en algunos casos excepcionales a 1 Gbit/s, para asignar una trama Gigabit Ethernet a una portadora

individual. También se contempla la posibilidad de actualizar las rutas de mayor tráfico a 10 Gbit/s por portadora, aunque en la planta de Telefónica son muchas las fibras que no admiten esta velocidad de modulación por problemas de dispersión de polarización.

#### **1.4.2 Red GMPLS, o integración de la transmisión óptica con la capa IP.**

GMPLS, acrónimo del término MPLS generalizado, es una propuesta de extensión del estándar MPLS. Los fabricantes de *routers* la presentaron en el *Internet Engineering Task Force* (IETF), con la intención de comenzar sus tareas de normalización a lo largo del año 2003. El MPLS, a su vez, es un conjunto de mecanismos y tecnologías que permiten realizar ingeniería de tráfico de altas prestaciones en IP.

El objetivo que se persigue con el GMPLS es integrar en un mismo plano de control la red IP y los conmutadores ópticos, de forma que el operador vea el reencaminamiento óptico como una funcionalidad más de los *router* IP. En la **Figura 1.14** se representa un esquema de este tipo de red. En GMPLS se contempla la existencia de matrices de conmutación óptica, *OXC* (*Optical Cross-Connect*), que descargan a los *router* de gran parte del tráfico que no va destinado a ellos. Además, y aquí reside la esencia del GMPLS, los *OXC*s se consideran como un apéndice o elemento integrado de los *routers*, de forma que el conjunto de *router* más *OXC* se considera a nivel lógico como un único elemento de red, y la agregación de tráfico en portadoras y su direccionamiento se realiza desde una misma plataforma de control y gestión.

##### **a) Ventajas**

Además de la ventaja que representa utilizar conmutadores ópticos, GMPLS ofrece las ventajas propias de las estrategias de integración, las cuales se pueden resumir de la forma siguiente:

- Al realizar bajo un mismo proceso la agregación eléctrica con la multiplexación óptica se optimiza el uso del ancho de banda.
- La monitorización y protección se realiza a nivel eléctrico, eliminando la necesidad de introducir para ello mecanismos adicionales a nivel óptico.
- Como generalización del punto anterior, no existe sistema de gestión de la capa óptica.

## b) Desventajas

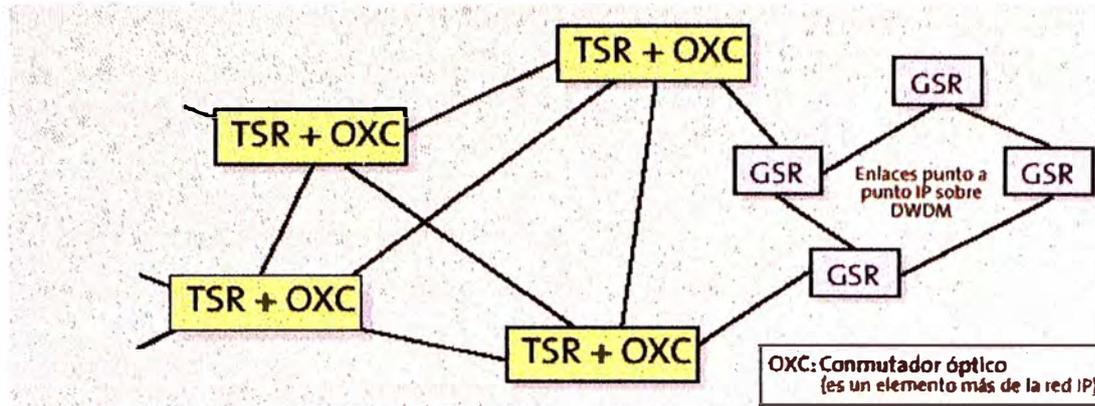
Frente a estas ventajas, GMPLS presenta también dos graves inconvenientes, uno de gestión, o de estrategia de operación, y otro de naturaleza física.

El inconveniente de la estrategia de operación se puede describir de la siguiente manera: aunque en GMPLS las capas ópticas y eléctricas son vistas por el operador como una única entidad, en realidad existen como entidades físicas distintas. Por tanto, no es evidente que vaya en beneficio del operador integrar las dos capas, porque eso le obliga a comprar la planta de conmutación y transmisión a los mismos suministradores. Por otra parte, en GMPLS se propone que, para poder implementar la función de reencaminamiento de tráfico, todos los conmutadores y *routers* dispongan de un mapa detallado de toda la planta.

Con este condicionante, la diversificación de suministradores sólo es posible si todos los estándares GMPLS están completamente cerrados y las interfaces de control no admiten ambigüedad. Aún así, dado que GMPLS es básicamente software, la interconexión entre subredes de distintos fabricantes exigiría un nivel de estabilidad de los estándares similar al que existe ahora en la planta de conmutación de circuitos; teniendo en cuenta que la definición del GMPLS está arrancando en estos momentos, puede que pasen varios años hasta que se alcance ese nivel.

Para intentar paliar este inconveniente, los fabricantes de *routers*, conscientes de la importancia que los operadores atribuyen a la posibilidad de gestionar de forma independiente las diferentes capas de la red, han propuesto en el IETF una variante del GMPLS, conocida como *overlay option* GMPLS (GMPLS superpuesta). En esta variante, la plataforma de control de la red sigue siendo única, pero el operador puede separar a nivel administrativo la gestión de los conmutadores ópticos de la gestión de los *routers*.

Frente a ella, la propuesta original de control integrado de toda la red recibe el nombre de *peer option* GMPLS (GMPLS entre iguales). Queda por ver qué grado de independencia de gestión permitirá el IETF a los OXC.



**Fig. 1.14 Esquema de red GMPLS**

El segundo inconveniente es más crítico y, sorprendentemente, no se menciona en las publicaciones relativas al GMPLS, ni en las conversaciones que los autores han mantenido con los fabricantes. Se refiere al hecho de que una red óptica incluye, o deberá incluir, no solamente conmutadores ópticos, sino otros elementos de red, como filtros sintonizables de extracción e inserción, ecualizadores de intensidad o elementos de compensación de dispersión cromática, y que una capa óptica requiere un mínimo de supervisión, mediante análisis espectral independiente, de las capas de multiplexación eléctrica. Para evitar estos problemas, se propone la tercera opción de evolución: la de red todo óptica independiente.

### **1.4.3 Red completamente Óptica**

En este escenario, representado en la **Figura 1.15**, se distinguen diferentes elementos de red óptica (como conmutadores, filtros sintonizables, ecualizadores, etc.) y elementos terminales de red de transporte (como *routers*, *crossconnects* o ADM SDH y conmutadores ATM). La red de transmisión proporciona conectividad con reencaminamiento a nivel óptico y granularidad de portadora a las diferentes redes de transporte, y es independiente de todas ellas.

#### **a) Ventajas**

Además de contemplar cualquier tipo de elemento óptico, la principal característica que diferencia a esta opción de las anteriores es la independencia con respecto a las redes de transporte. Abarca dos aspectos:

- *Independencia de formatos de modulación*

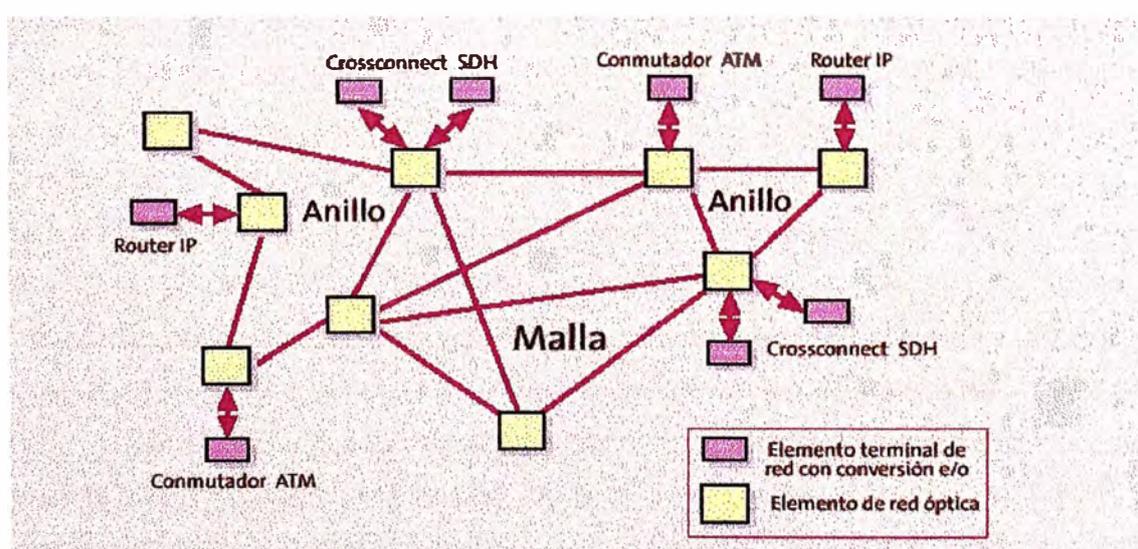
La transmisión óptica es independiente del sistema de multiplexación eléctrico, incluso en las capas más bajas (la 1 y 2). La adaptación entre el entorno eléctrico y óptico se realiza en los transpondedores.

- *Independencia de sistemas de gestión*

La independencia de los sistemas de gestión persigue dos objetivos:

- Permitir al operador, si así lo desea, adquirir los sistemas de gestión de suministradores diferentes.
- Dado que la funcionalidad de la capa óptica es mucho más simple que la de los estándares de multiplexación, el coste de su gestión deberá ser también muy inferior. El operador puede actualizar la gestión de su planta óptica sin verse forzado a adquirir una nueva versión del sistema de gestión de red de transporte, que potencialmente es más cara.

La simplicidad de la gestión de la capa óptica merece una aclaración. El operador puede manipular muy poco a una portadora; únicamente puede variar su intensidad, reencaminarla o filtrarla. Por contra, los elementos de las jerarquías de multiplexación eléctricas acceden al contenido digital de la señal, y sobre él pueden realizar una gran variedad de actuaciones, como modificar canales de servicio, medir tasas de error, actualizar mecanismos de corrección de errores, y un largo etc.



**Fig. 1.15 Esquema de red todo óptico Independiente**

A nivel de gestión, la integración de la transmisión con el transporte se realiza de forma similar a como se integran en la actualidad sistemas y redes diferentes para ofrecer un único servicio: mediante un sistema de gestión de orden superior. Este sistema lo suele desarrollar el propio operador a su medida.

## **b) Desventajas**

El primer gran problema que presentan actualmente las redes totalmente ópticas es su escasa madurez. Los dispositivos necesarios para la implementación de sistemas WDM son recientes, y muchos de ellos, como los OXC, están todavía en fase experimental. La dispersión cromática y las no linealidades de la fibra, la acumulación de diferencias de ganancia para distintas longitudes de onda en redes con amplificadores ópticos en serie, la diafonía de los componentes ópticos, o los problemas para realizar conversiones de unas longitudes de onda a otras son algunos ejemplos de las dificultades que han de afrontar las llamadas redes transparentes. Esta falta de desarrollo se traduce en un elevado coste de este tipo de redes.

Además de esta desventaja fundamental, existen otros dos problemas graves que las redes ópticas han de superar. El primero es la falta de métodos efectivos de administración y gestión de las redes. Esto no suponía un problema en los enlaces punto a punto utilizados hasta el momento, por lo que el nivel de desarrollo de los sistemas de gestión es mínimo. El segundo problema existente es la dificultad de monitorización de todos los canales en el nivel óptico, mucho más simple de realizar en los actuales sistemas JDS. Cabe destacar también la dificultad añadida que supone la transmisión de servicios de conmutación de paquetes, como es el caso de transmisión directa de ATM sobre las capas ópticas. La conmutación de paquetes obliga a disponer de buffers de almacenamiento en los nodos ópticos y presenta rápidos tiempos de sintonía de los transmisores y receptores. Los dispositivos sintonizables necesarios para la realización de estas redes, además de ser extremadamente caros, tienen rangos de sintonía bajos, por lo que el número de canales que se pueden multiplexar sobre una misma red se reduce [9]. Esto hace que las redes ópticas de conmutación de paquetes implementadas hasta el momento hayan sido en su mayor parte redes multisalto, en las que los transmisores y receptores operan a una longitud de onda fija, y en cada nodo intermedio los mensajes son transformados al dominio eléctrico, encaminados y retransmitidos en una longitud de onda distinta.

## **CAPITULO II**

### **REDES ÓPTICAS TERRESTRES Y SUBMARINAS**

#### **2.1. DWDM en Redes Ópticas de Banda Ancha Terrestre**

Después de un período de estancamiento, el mercado de la multiplexación por división en longitud de onda densa (DWDM) a gran distancia (LH) ha entrado en una fase nueva y dinámica en este 2006, caracterizada por una amplia variedad de oportunidades en todo el mundo, gracias al tráfico generado por la adopción del acceso de banda ancha.

Los operadores, tanto fijos como móviles en los países más desarrollados (Estados Unidos y Europa occidental) han prácticamente agotado la capacidad del equipamiento instalado al final de los años 90, y han comenzado a instalar productos de nueva generación, para aumentar la capacidad y beneficiarse de las nuevas tecnologías. Al mismo tiempo, China, India, Rusia y los países emergentes de Latinoamérica, Oriente Medio, Asia Pacífico y África están instalando rápidamente sus primeras infraestructuras DWDM, impulsados por el rápido crecimiento de GSM y del tráfico de Internet. México, Brasil, Australia y otros países europeos están aumentando de forma continua la capacidad de sus redes DWDM (aceleradamente por los servicios triple play), actualizando las plataformas ya existentes y con el despliegue de nuevos sistemas.

A continuación desarrollaremos una estrategia, basados en los conocimientos de las tecnologías terrestre y submarina y sus aplicaciones, para aprovechar las ventajas de cada uno de estos mundos. Se exponen las estrategias de los fabricantes y las nuevas tecnologías relacionadas para redes DWDM, tanto terrestres como submarinas. También se aborda a nivel global el papel de DWDM en las emergentes redes de longitud de onda.

##### ***2.1.1 Necesidad de las Tecnologías Comunes en las Aplicaciones Terrestres y Submarinas***

En el mundo de la transmisión submarina, la tecnología ha sido el elemento básico que hacía posible responder a las continuas demandas de cada vez mejores prestaciones, en

un mercado limitado a unos pocos operadores. Los desafíos específicos de este segmento de mercado han puesto un mayor énfasis en alcanzar las prestaciones requeridas utilizando las tecnologías apropiadas (corrección de errores hacia delante FEC, formatos de modulación, mecanismos de amplificación avanzada, incluyendo la amplificación Raman, etc.) a costa de una mayor inversión de capital y de consideraciones operacionales. Sin embargo, la crisis en las telecomunicaciones, provocada después de la explosión de la burbuja Internet en el año 2000, ha cambiado esta situación, haciendo que los requerimientos en coste y en integración sean ahora cruciales a la hora de tomar decisiones. En contraposición, el mayor número de actores en el segmento terrestre, y los requerimientos menos exigentes de los sistemas hasta ahora, han dado como resultado un mayor énfasis en las inversiones en estos sistemas, evitando el uso de las tecnologías submarinas, más costosas, en el segmento terrestre. La integración y el consumo de potencia son otros de los fuertes límites impuestos al segmento terrestre. El mucho mayor número de sistemas terrestres desplegados en todo el mundo ha permitido a la multiplexación por división en longitud de onda (WDM) terrestre beneficiarse de la producción masiva, en contraste con los sistemas submarinos, que tienen unos costes de sistema más elevados. Sin embargo, el cambio en las condiciones del mercado, que está demandando un salto en las prestaciones de los sistemas terrestres hacia muy larga distancia (VLH, > 2000 km) y ultra larga distancia (ULH, hasta 4000 km), abre el camino a la utilización de tecnologías desplegadas previamente en los sistemas submarinos. En paralelo, los nuevos parámetros de los sistemas submarinos (mayor énfasis en los costes y en la integración) pueden satisfacerse mejor con la adopción de desarrollos similares a los de los sistemas terrestres, con requerimientos más exigentes en términos de coste, integración y consumo de potencia.

Los amplificadores ópticos Raman difieren, en principio, de los EDFAs (amplificadores de fibra dopada con erbio) en que utilizan dispersión de Raman estimulada (SRS) para conseguir la ganancia óptica. La interrelación inelástica SRS transfiere la energía de la onda "de bombeo" a la onda de señal. La onda de bombeo Raman, con una potencia de 1 W o más se copropaga con la señal y se envía a la fibra monomodo de entrada que lleva la señal, utilizando un acoplador o multiplexor y un aislador óptico. Una de las ventajas de los amplificadores Raman es que la amplificación de la señal se logra en la misma fibra monomodo que lleva la señal, con lo que se consigue una ganancia adicional y un mejor comportamiento total de la relación señal óptica/ruido (OSNR), cubriendo un mayor margen de nivel de atenuación a mayores distancias para un tipo determinado de fibra óptica.

Ofrecer la tecnología más apropiada con la inversión de capital (CAPEX) óptima, introduciendo cada tecnología sólo cuando sea económicamente interesante para una aplicación determinada del cliente, ha sido el objetivo principal para la utilización de módulos de tecnología comunes en los desarrollos de sistemas terrestres y submarinos.

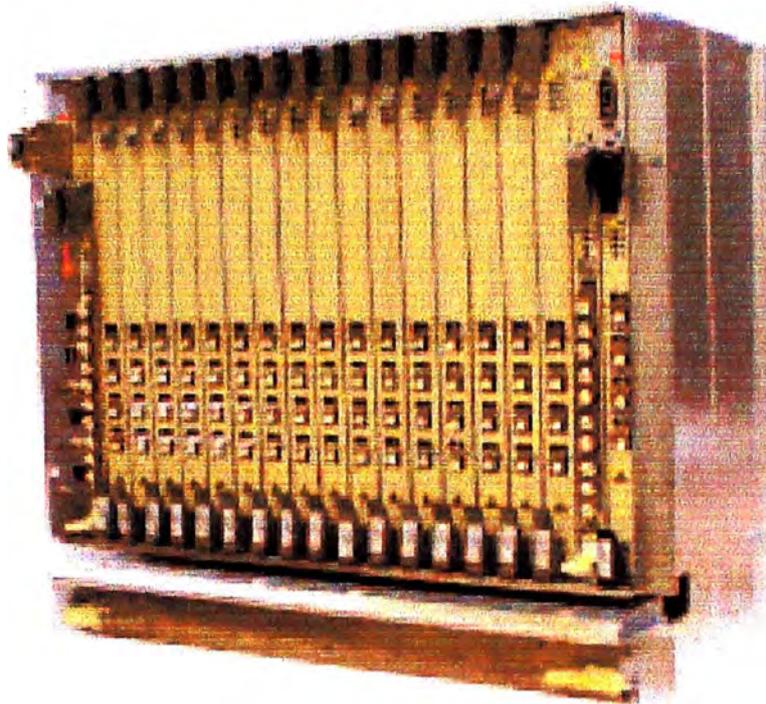
### ***2.1.2 Situación de los sistemas DWDM de largo alcance terrestres***

#### **a) Un mercado complejo y cambiante**

Dada la diversidad de los clientes en el mercado actual, los proveedores de DWDM se enfrentan a una situación muy complicada. Los requerimientos de cada cliente son muy diferentes, haciendo difícil crear un único producto capaz de satisfacer todas sus expectativas. Por ejemplo, los operadores de Estados Unidos (desde los ya establecidos de telefonía y TV por cable hasta los proveedores de servicio de Internet) pueden afrontar una alta inversión inicial para desplegar una plataforma flexible y muy automatizada, para minimizar las intervenciones futuras en la red y los costes operacionales asociados (OPEX).

Los costes operacionales (OPEX) son los costes recurrentes críticos a los que tiene que hacer frente el operador en cualquier red. Para las redes DWDM. Los fabricantes han puesto una atención especial en mejorar las facilidades que permiten la reducción del OPEX: adaptabilidad de transpondedores, adaptación automática de los sistemas en el arranque y en cualquier actualización, ajuste y configuración remotas (p. ej., ROADM) y auto-declaración de tarjetas para operación "plug and play".

Como contraste, en otros países desarrollados y en proceso de desarrollo, la minimización de la inversión CAPEX inicial es la primera limitación, obligando a seleccionar plataformas más simples y ampliables. Además, en contra de muchos pronósticos, no han desaparecido proveedores importantes en la crisis de la industria de telecomunicación, la comunidad de proveedores no se ha consolidado, y todavía hay demasiados actores en el mercado, forcejeando contra la presión de los precios para sobrevivir. Este hecho, junto con el crecimiento de algunos suministradores chinos y de otros países de equipos de bajo coste, ha llevado a una presión en la reducción de costes que no puede compaginarse con la introducción de funcionalidades avanzadas.



**Fig. 2.1. Visión del producto de Transmisión Terrestre de largo alcance 1626 LM de Alcatel**

#### **b) Estrategia de los Fabricantes**

Durante los últimos años los fabricantes han desplegado una serie de diseños con la intención de ofrecer una aproximación, paso a paso, de los diferentes requerimientos del mercado. A continuación presentamos este avance dividiéndolos en versiones.

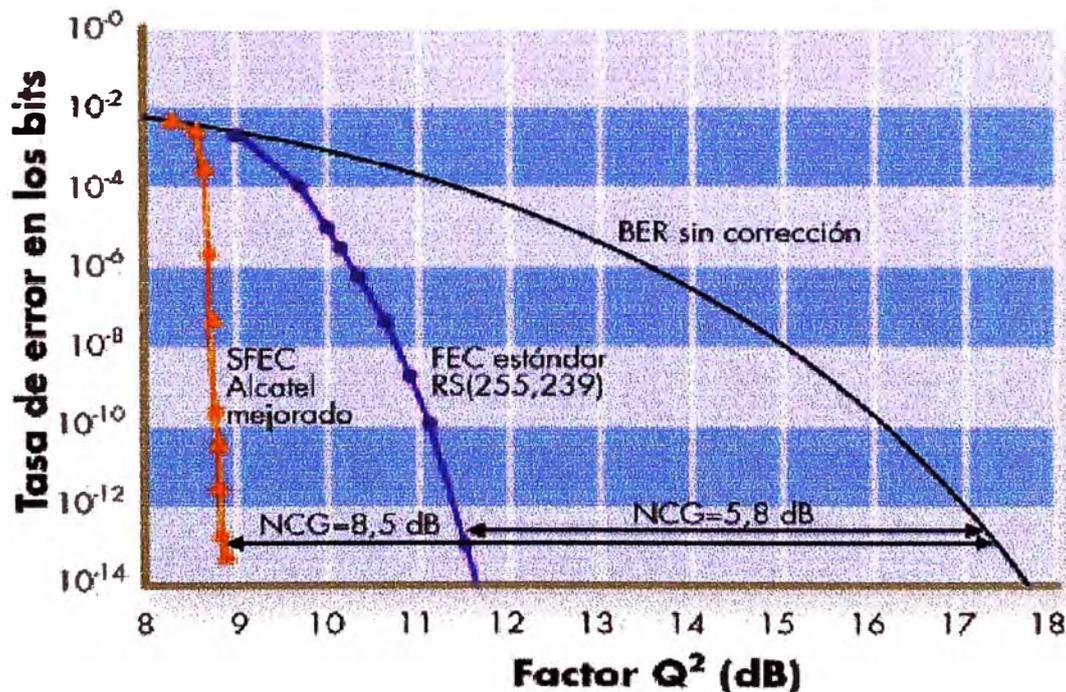
- La versión 1 ofrecía la posibilidad de actualizaciones a bajo coste con características de transmisión y capacidad mejoradas.
- La versión 2 mejora estas prestaciones, dando la oportunidad de desplegar nuevas redes utilizando una plataforma de alta capacidad (96 canales) VLH, que cumplirá la norma G709 (extensión a 40 Gbit/s).
- La versión 3 incluye amplificadores de coste reducido y tarjetas multiplexadoras para cubrir las redes de baja capacidad y corta distancia (las llamadas "regionales", por debajo de 600 km) con la misma plataforma pero con costes optimizados y una primera versión del multiplexor óptico de inserción/extracción reconfigurable (ROADM).
- La versión 4 introducirá próximamente un conjunto de características avanzadas: amplificación Raman, modulación de vuelta a cero (RZ), conjunto completo de ROADMs y configuración integrada a 40 Gbit/s. Esta versión está claramente dirigida al mercado de Estados Unidos, que requiere el transporte de alta capacidad en distancias VLH y ULH, mientras saca provecho de las capacidades de flexibilidad y automatización que proporciona la arquitectura y

control ROADM.

### c) Un método de Arquitectura y Tecnología con éxito

El éxito de los equipos de nueva generación (por ejem. 1626 LM, figura 2.1) comienza en su transpondedor de 10 Gbit/s. Este transpondedor combina las interesantes prestaciones de transmisión óptica de las tecnologías submarinas avanzadas con la densidad excelente (16 tributarios bidireccionales por nivel) a los costes competitivos requeridos en las aplicaciones terrestres. Una contribución importante a las prestaciones de transmisión se consigue con el algoritmo mejorado Super FEC, que se basa en la decodificación iterativa de dos códigos:

Bose-Chaudhuri-Hocquenghem interpolados, BCH(1020,988)/BCH(1020,988), compatible con la trama G.709 estándar y cumpliendo con el apéndice de la recomendación de la UIT G.975, consiguiendo la mejor ganancia neta de codificación (NCG) posible de 8,5 dB a una tasa de errores de bit (BER) de  $10^{-13}$ , facilitando una mejora de 2,7 dB en la tolerancia de la relación señal/ruido óptica (OSNR) frente a la codificación clásica Reed-Solomon RS(255,239), **Figura 2.2.**

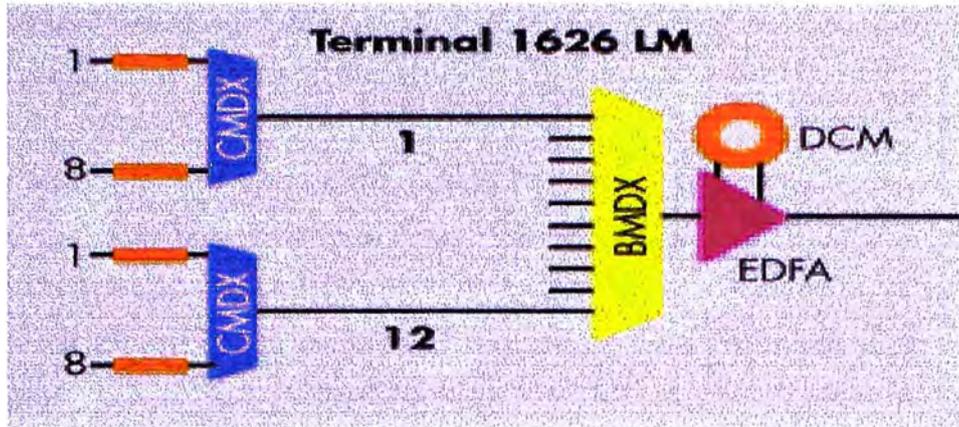


**Fig. 2.2.** BER medido frente al factor  $Q^2$  utilizando RS(255, 239) FEC estándar y la función Super FEC mejorada. La mejora en la tolerancia de OSNR es aproximadamente igual a la mejora del NCG, que se define en términos de factor  $Q^2$

Conseguir unas características de transmisión excelentes a nivel del transpondedor hace que se cumplan dos objetivos importantes:

- Permite el despliegue de enlaces DWDM VLH, minimizando la necesidad de regeneraciones intermedias, y la utilización de tecnologías avanzadas a nivel de línea (p. ej., amplificación Raman): esto evita cualquier impacto en el CAPEX inicial, mientras se minimiza el costo de las futuras actualizaciones de canales.
- Permite una fácil ampliación y puesta al día de todas las infraestructuras DWDM existentes. Es especialmente importante destacar que la tolerancia OSNR de los nuevos transpondedores de 10 Gbit/s es mejor que la de cualquier otro producto de 10 Gbit/s instalado. El transpondedor de 10 Gbit/s de también permite no sólo actualizar cualquier infraestructura ya diseñada para 10 Gbit/s, saltando puntos de regeneración o incrementando la capacidad total, sino también mejorar infraestructuras diseñadas originariamente para transportar canales de 2,5 Gbit/s. De este modo, permite un incremento de cuatro veces de la capacidad original de la plataforma, con sólo un mínimo coste adicional por introducir los módulos compensadores de dispersión requeridos por los canales de 10 Gbit/s. El mercado ha recibido muy bien otras características hardware tales como:
  - La capacidad de adaptación de su transpondedor en toda la banda C+, consiguiendo una importante reducción en el coste y una simplificación en la gestión de los repuestos por parte del cliente.
  - La opción de aumentar el ancho de banda de transmisión desde la pura banda C (1530 a 1560 nm) a la banda extendida C+ (1530 a 1568 nm: 96 canales con un espaciado de 50 Ghz), utilizando la ampliamente probada tecnología de amplificador de fibra dopada con erbio (EDFA).

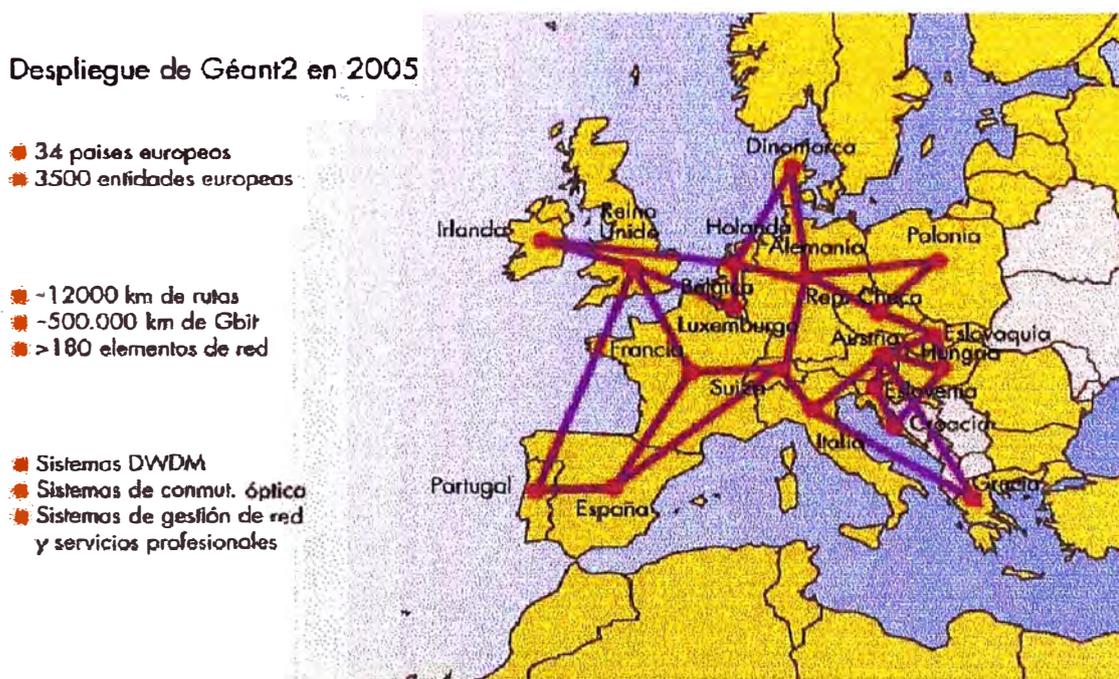
Como ejemplo podemos tomar el equipo Alcatel 1626LM, el cual tiene una arquitectura de multiplexado flexible y escalable de terminales y OADMs, donde el ancho de banda total de transmisión se divide en 12 sub-bandas de 8 canales, en la que los multiplexores/demultiplexores sólo tienen que instalarse en función del número de canales a implementar (**Figura 2.3**).



**Figura 2.3. Arquitectura básica del terminal 1626 LM (Transmisión), incluye un multiplexor de 12 bandas (BMDX), hasta 12 multiplexores de 12 de 8 canales (CMDX), un amplificador EDFA y un módulo compensador de dispersión (DCM). La arquitectura de demultiplexación es exactamente simétrica.**

Además de la posibilidad de aumento de canales sin intervención, la potencia de salida del EDFA puede aumentarse de 20 a 23 dBm con el uso de bombeo externo, lo que una vez más minimiza los costes iniciales del hardware.

La evolución de este producto desde su lanzamiento ha sido rápida, estando ya instalado o en proceso de instalación en 23 redes. Un ejemplo del despliegue del 1626 LM es la red pan-Europea de investigación y educación Geant2/Dante, que se muestra en la **Figura 2.4.**



**Figura 2.4. Red Pan Europea de investigación y educación Date/Geant2, en la que los enlaces de 10 Gbits se realizan con el 1626 LM**

**d) Evoluciones actuales y futuras. ¿Mayor capacidad sobre mayores distancias o características de mayor valor añadido?**

Tal como se ha descrito anteriormente, cada vez se presta mayor atención a las nuevas prestaciones de automatización que tienen como objetivo la reducción del OPEX y la mejora de la flexibilidad, adaptabilidad y capacidad de reconfiguración de las redes. Para cumplir estas expectativas se han integrado varias características plug and play y de autoajuste que facilitan los procedimientos de puesta en marcha, mantenimiento y actualización, y permiten el mantenimiento de las prestaciones al más alto nivel a lo largo de toda la vida del sistema.

En particular, el operador puede activar el ajuste automático de la potencia óptica de los transpondedores en función de las características del enlace de transmisión. Este mecanismo, llamado ajuste de pre-énfasis (APA), se lleva a cabo midiendo y optimizando el BER de cada longitud de onda en el receptor. Este método es el más eficiente, y garantiza unas prestaciones óptimas para todos los canales, de forma simultánea, a diferencia de algoritmos basados simplemente en OSNR, ya que otros efectos de la transmisión desequilibran el BER.

Al mismo tiempo, características especiales, como la optimización de los parámetros del receptor (RPO) ajustan de forma continua el umbral de decisión de receptor para minimizar el BER; y un post-énfasis automático optimiza aún más el rendimiento de cada canal.

Las versiones 3 y 4 de 1626 LM presentan aún mayores mejoras en la automatización con la integración de un ROADM. Ya está disponible para aplicaciones metropolitanas y metropolitanas/regionales (1696 Metro Span ROADM), y facilita la operación de los sistemas de varias formas

Más allá de los clientes de red óptica síncrona (SONET)/jerarquía digital síncrona (SDH), el sistema cumple todas las especificaciones para un gran número de formatos de datos soportados (Ethernet, todos los estándares de red de área de almacenamiento SAN, transmisión de video, etc.) y presenta funciones eficientes de agregación para un transporte económicamente rentable a 2,5, 10 y 40 Gbit/s. Por el contrario, la fuerte tendencia hacia mayores capacidades y mayores distancias vista al final de los años 90 se ha reducido en los últimos años, a favor de un mayor énfasis en una reducción importante en el CAPEX y /o en el OPEX.

Actualmente, es muy raro encontrar un requerimiento de plataformas de un Tbit/s, y no se requieren distancias ULH si no traen consigo unas ventajas tangibles en el coste a corto y medio plazo. No obstante, algunos operadores de Estados Unidos requieren distancias

ULH sin regeneración, cuando estiman que un punto de regeneración demandará mantenimiento y un mayor OPEX. La infraestructura de fibra óptica en Estados Unidos está básicamente basada en fibras G 655 de antigua generación, un soporte físico con pobre rendimiento para transmisión DWDM. Exige una utilización intensiva de amplificación Raman y/o el formato de modulación RZ (1626 LM versión 4) para conseguir distancias VLH, aunque el coste de los amplificadores Raman los hace más adecuados para aplicaciones puntuales, tales como un vano muy largo dentro de un enlace LH (p. ej., cruzar un estrecho marino, un desierto, lago, bosque, etc.). Este último tipo de aplicación Raman ya está incluida en la versión 2.

Finalmente, el soporte de la transmisión a 40 Gbit/s, aunque no se requiere de forma específica para aumentar la capacidad de la plataforma en su conjunto, puede necesitarse para transportar la capacidad del enlace IP a 40 Gbit/s. Por esta razón los productos DWDM de Alcatel de nueva generación ya soportan una extensión de transmisión a 40 Gbit/s.

## **2.2. Redes Ópticas Submarinas**

### ***2.2.1 Acerca de las Redes Submarinas de Fibra Óptica***

El primer cable telegráfico submarino internacional fue instalado en Europa en 1850 uniendo Inglaterra y Francia, mientras que el primer cable telefónico trasatlántico fue instalado en el año 1956 y era capaz de transmitir 36 canales telefónicos analógicos simultáneos.

Después de 30 años de cables submarinos coaxiales, los años 80 trajeron dos cambios radicales, la transmisión digital y la fibra óptica lo que permitió transmitir digitalmente sobre un medio de gran ancho de banda, con alta calidad y confiabilidad.

Los años 90 trajeron dos nuevos avances para los enlaces submarinos de fibra óptica, el amplificador óptico y la multiplexión en longitud de onda densa (DWDM) que permiten amplificar la luz y enviar por una misma fibra óptica varias señales de alta velocidad en diferentes "colores" (longitudes de onda) de la luz en forma simultánea.

La amplificación óptica y el adecuado manejo de los efectos degradantes de la fibra óptica que deformaban los pulsos de información permitieron eliminar la necesidad de regeneradores electrónicos, mejorando la confiabilidad y permitiendo cambios en las velocidades de transmisión sin cambiar las características de los repetidores submarinos que son de alto costo.

La introducción de las nuevas tecnologías hizo abaratar los costos de una forma dramática, interesando a cada vez más actores a participar en nuevos proyectos, ya que a mediados de los noventa el retorno de la inversión era muy rápido. Es así que se verificó la disminución del costo del circuito de voz por año desde US\$ 40.000. en el TAT-1 en 1956, a US\$ 20. en el TAT-12 en 1995.

Estos últimos avances permitieron hacer crecer la capacidad ofrecida en forma explosiva, satisfaciendo con creces el extraordinario aumento de la transmisión de datos debido al advenimiento de la Internet e introduciendo una positiva sinergia entre oferta y demanda. Por ejemplo, la capacidad ofrecida entre los años 1988 a 1998 se multiplicó por 64.

En la actualidad, existen instalados en el mundo un millón de kilómetros de cable submarino, bastante para rodear el globo 30 veces, formando una red de enlaces de fibra óptica que llevan grandes volúmenes de tráfico entre los continentes.

Se ha demostrado la factibilidad real de sistemas transoceánicos que operan a 10 Gbit/s con 32 longitudes de onda, lo que significa una capacidad de 320 Gbit/s por fibra, suficiente para transmitir más de 15 millones de circuitos de voz simultáneos en un cable submarino típico de cuatro pares de fibras ópticas.

La explosión del mercado internacional de las redes de cable submarino se produjo en la década de 1990 a 2000, e incluyeron una gran actividad a través del Océano Pacífico. Las razones que provocaron la tremenda y urgente necesidad del aumento en la conectividad transpacífica provino del tráfico de Internet que creció a tasas del 100% en esos años, mucho más del 10% anual de crecimiento telefónico. Se agregó a esto el aumento del tráfico anual de las intranets debido a la globalización de los negocios, que incluye video conferencia, transmisión de datos en tiempo real y aplicaciones multimediales (imágenes de video, imágenes gráficas en colores y sonido de alta fidelidad).

Un ejemplo del volumen del negocio lo representa el proyecto China-USA de 950 millones de dólares que consiste de un anillo auto-prottegido de 30.000 Km. y que une China, Japón y Korea con USA contando con 9 puntos en tierra y una derivación a Uam y que puede llegar a una capacidad global en torno a 1,5 Terabits/s. (1.500.000.000.000 de símbolos binarios por segundo).

El excesivo optimismo sobre el crecimiento de Internet y la integración de muchos nuevos actores en los proyectos llevó inexorablemente a que el mercado de los sistemas de fibra óptica submarina se comenzara a contraer bruscamente después de varios años de excesiva inversión (28 billones de dólares hasta el año 2002 a nivel mundial) dejando como inversiones factibles en el corto plazo principalmente los up-grades de los sistemas ya instalados.

### **a) ¿Qué es una Red submarina de fibra óptica?**

Una red submarina de fibra óptica está compuesta de enlaces realizados con cables de fibra óptica formando anillos que permiten unir ciudades dentro de un continente y con otras ubicadas en otros continentes. Normalmente la conectividad global mundial se consigue a través de la interconexión de anillos de menor envergadura.

Un enlace submarino de fibra óptica se compone de dos grandes partes: La Planta seca en tierra y la Planta húmeda o bajo el mar.

La Planta húmeda está compuesta por los elementos que se encuentran bajo el mar y que son principalmente el cable que transportan las señales luminosas de información de una estación a otra, los repetidores que permiten amplificar la señal luminosa a medida que se desgasta y las unidades de derivación, que posibilitan integrar estaciones secundarias a la troncal sin arriesgar la confiabilidad del sistema.

En la Red Seca se encuentran los componentes que permiten transmitir, recibir y controlar las comunicaciones que se envían a través de los segmentos de enlaces submarinos. Estos componentes son el Equipo terminal de línea para transmitir y recibir la información, el equipo de generador de potencia para alimentar con corriente eléctrica a los repetidores, el cable terrestre para unir la Estación de tierra con el Cable submarino y el Cable de tierra que permite cerrar el circuito eléctrico a través del mar.

Para instalar los cables submarinos bajo el mar, se realiza primero un levantamiento topográfico del fondo marino que permita elegir la ruta del cable más adecuada que evite las fosas, montañas y otras dificultades que imponen el medio ambiente en que será instalado, por ejemplo faenas de pesca, anclas y ataque de peces. En zonas en las cuales sea necesario, el cable puede ser enterrado y/o fijado para evitar movimientos que pudiesen afectar su integridad física.

### **b) ¿Cómo se consigue la gran confiabilidad de las redes submarinas de fibra óptica?**

Dado que hoy en día existe una gran conectividad mundial a través de cables submarinos formando anillos, las redes submarinas de fibra óptica cuentan normalmente con protecciones en caso de falla de equipos o corte de un cable; sin embargo debido a la gran cantidad de información que transportan se hace vital restablecer lo antes posible el equipo o cable dañado, dado que mientras no haya sido solucionada la falla el sistema permanecerá sin respaldo, produciéndose una crisis de proporciones en caso de producirse una nueva falla en otro lugar del anillo.

Para cumplir con el propósito anterior las estaciones de cable submarino se conectan utilizando un anillo de "trabajo" y uno de "respaldo", En caso normal, sin falla, el tráfico prioritario es llevado por el anillo de trabajo, mientras que por el anillo de protección se lleva tráfico de baja prioridad. En caso de falla, existirá una conmutación de segmento (sólo entre dos estaciones y por falla de equipos), o conmutación de anillo, que implica una re-configuración total del anillo en forma de "banana" (cuando se trata de un corte de cable). Cuando se realiza una conmutación que utiliza el anillo de protección, el tráfico no prioritario se pierde.

La tecnología de anillos aprovecha además lo explicado antes en el sentido que es posible enviar por una misma fibra óptica varias señales de alta velocidad en diferentes "colores" de la luz en forma simultánea, por lo que si se usan 16 "colores" y considerando que se disponen de 4 pares de fibras, se podrán construir un total de 64 anillos independientes. (Posteriormente esa cantidad podría ser ampliada agregando nuevos "colores" o sea nuevas longitudes de onda).

Gracias a la cantidad de anillos disponibles, la flexibilidad y confiabilidad del sistema crece enormemente, facilitando además el mantenimiento preventivo y correctivo.

En las redes de submarinas de fibra óptica normalmente existe un centro remoto de operación que tiene por función supervisar la red las 24 horas del día y los 365 días del año. Todo tipo de actividad de mantenimiento correctivo, debe contar con la autorización y dirección del Centro de operación de red de manera que nada sea hecho sin un adecuado registro y supervisión.

Las comunicaciones de servicio (mantenimiento) entre los computadores de las diferentes estaciones de cable submarino, se realizan a través de canales de transmisión de datos mediante routers bajo protocolo TCP-IP. Dichos canales de datos se envían dentro de la misma señal de alta velocidad que sale por el terminal de línea respectivo.

Es interesante destacar que para fines de mantenimiento preventivo y correctivo es necesario realizar mediciones y enviar órdenes a los repetidores que están bajo el mar. Esto se realiza variando levemente (sobre-modulando) la señal luminosa de acuerdo a la señal de datos de baja velocidad que contiene los mensajes enviados o recibidos hacia o desde los repetidores.

Para la rápida localización de un punto de corte del cable se utiliza un instrumento (reflectómetro óptico coherente) que envía pulsos de luz y mide el tiempo de retorno de dichos pulsos al reflejarse en el corte, presentando errores que pueden ser tan bajos como un 0,1% y un alcance de hasta 15.000 kilómetros.

En algunos casos se producen fallas eléctricas de aislación en el cable submarino y no pueden usarse métodos de reflectometría óptica como el explicado antes; en ese caso

existen métodos eléctricos de localización, pero dado que dependen de muchos parámetros variables y particulares de cada enlace pueden presentar un error tan grande como 1%.

### ***2.2.2 Importancia de las Redes Submarinas de Fibra Óptica.***

Quizá la mayor importancia de las redes de cable submarino de fibras ópticas sea la reducción del costo de las comunicaciones de larga distancia que se deriva de las siguientes causas principales:

- La extraordinaria capacidad que presenta la tecnología permite abaratar los costos por circuito.
- La gran oferta de capacidad ofrecida en la actualidad debido a las cuantiosas inversiones realizadas.
- La existencia de alta competencia entre las empresas explotadoras de las redes de cable submarino.

La importancia global de las redes submarinas de fibra óptica es que permiten crear, junto a las redes terrestres de fibra óptica una poderosa columna vertebral que enruta las señales de telecomunicación a través de todo el planeta sin que se produzcan cuellos de botella ni degradación de la calidad de la transmisión. (Como sucedía con las comunicaciones punto a punto vía satélite anteriormente). En este sentido cabe destacar:

- Todas las señales de larga distancia intercontinentales y en muchos caso regionales y cualquiera sea su origen, (teléfono fijo o celular, datos de Internet, datos privados, etc). desembocan ineludiblemente en la columna vertebral que forman las redes submarinas y terrestres de fibra óptica.
- Dada la estructura en base de anillos auto-curables de las redes submarinas de fibra óptica, siempre existirá un camino para que la información llegue a su destino y con alta calidad.

Las redes submarinas de fibra óptica trabajan en forma silenciosa y eficiente, asegurando una disponibilidad altísima e inmediata y, protegidas por un medio que no presenta cambios que afecten su integridad. Es labor de las administraciones de telecomunicaciones comprender y explotar a cabalidad las enormes potencialidades que presentan en lo técnico y económico.

### **2.2.3 La Evolución en Sistemas de Comunicación Submarinos**

Primero con un aumento equivalente en el número de canales de voz transmitidos, de 20 000 canales por par de fibra en los sistemas de primera generación de 280 Megabits por seg. (1988).

Segundo a 320 000 canales por par de fibra en los sistemas de tercera generación de 5,0 Gigabits por seg. (1995).

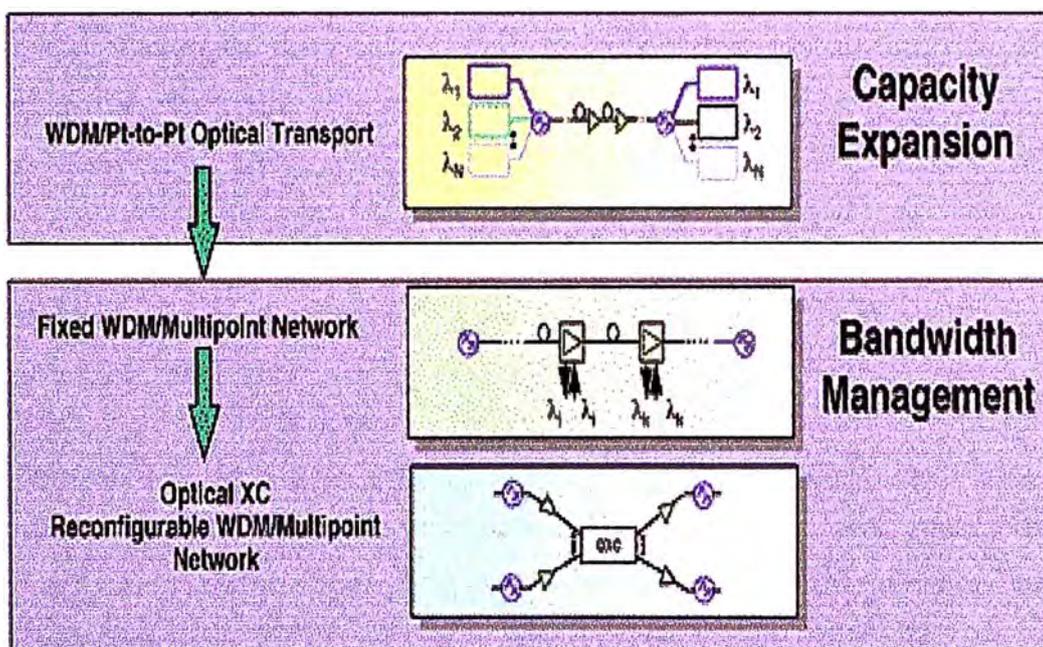
Tercero para entender la importancia del DWDM y la red óptica, estas capacidades deben ser discutidas en el contexto de los desafíos mostrados por la industria de las telecomunicaciones, y en particular, los proveedores de servicio. Muchas redes en USA fueron construidas usando cálculos que usan ancho de banda calculados mediante el empleo de tasas de concentración derivadas de las fórmulas clásicas de la ingeniería tales como Poisson y Reeling. Consecuentemente, los pronósticos de la cantidad de ancho de banda necesitada para las redes fueron calculados en la suposición que un individuo dado usaría solamente el ancho de banda de la red seis minutos por cada hora. Estas fórmulas no consideraron la cantidad de tráfico generado por el acceso a Internet (300% de crecimiento anual), faxes, teléfonos multilínea, módem, teleconferencia, y transmisiones de datos y video. De haber sido incluidos, un estimado totalmente diferente habría emergido. En efecto, hoy en día mucha gente usa el ancho de banda equivalente a 180 minutos o más cada hora.

Por lo tanto, una enorme cantidad de ancho de banda es requerida para proveer los servicios demandados por los consumidores. Como referencia, en 1997, una portadora de larga distancia dió un gran salto cuando incrementó su capacidad de ancho de banda a 1.2 Gbps (billón de bits de información por segundo) sobre un par de fibra. A la velocidad de transmisión de 1 Gbps, 1000 libros pueden ser transmitidos por segundo. Sin embargo hoy en día, si un millón de familias deciden que quieren ver video en la Web, y/o muestras de nuevas aplicaciones de video emergentes, entonces la velocidad de transmisión de la red de terabits (Tbps, trillón de bits de información por segundo) es requerida. A una velocidad de transmisión de un terabit, es posible transmitir 20 millones de llamadas telefónicas simultáneas o transmitir el texto de 300 años de diarios por segundo.

Nadie podría haber pronosticado el crecimiento de la red necesario para conocer la demanda. Por ejemplo, un estudio estimó que desde 1994 a 1998 la demanda de las redes portadoras entre centrales (IXC's) en USA se incrementaría siete veces, y para las redes de portadoras entre centrales locales (LEC's) en USA, la demanda se incrementaría 4 veces. En la actualidad, una compañía señaló que su crecimiento de red

fue de 32 veces mayor al del año anterior, mientras que la velocidad de crecimiento de otra compañía en 1997 fue solamente del mismo tamaño al de su red en 1991; aún otra ha dicho que el tamaño de su red se duplicó cada seis meses en ese periodo de cuatro años.

Agregando a esta explosión de demanda del consumidor por ancho de banda, muchos proveedores de servicios están imitando esto, incorporando Fibra Optica en sus redes. Una compañía de encuestas indicó que en 1995, la cantidad de fibra existente en uso en la red promedio estuvo entre 70% y 80%. Hoy, muchas portadoras se aproximan al 100% de uso de capacidad a través de porciones significantes de sus redes. Otro problema para las portadoras es el desafío de desarrollar e integrar diversas tecnologías en una infraestructura física. La demanda de los consumidores y las presiones obligan que las portadoras ofrezcan diversos servicios económicamente y lo desarrollen sobre la red



existente. Los proveedores de servicio DWDM otorgan una respuesta a esa demanda ( **Figura 2.5**).

**Fig. 2.5 - Transporte Optico a Red Optica: Evolución de la Ley Fotónica**

En menos de 40 años desde la instalación del primer cable de telecomunicaciones (TAT-1), el costo por canal de voz equivalente se ha reducido por un factor de 1 000 en dinero de valor presente

**TAT-1 (1956)**

Costo por canal de voz/datos:

US\$6800 000

**COLUMBUS 3 (1999)**

Costo por canal de voz/datos:

US\$ 6800

### **2.2.4 Cable Submarino, Ventajas Y Desventajas**

Los cables de Fibra óptica transmiten la voz y datos con más alta fiabilidad y seguridad a un menor costo que el satélite. Mientras una llamada vía satélite debe viajar 27,000 millas (35,780 km) de la tierra al satélite y otras 27,000 millas de regreso, una llamada por fibra óptica transpacífica necesita sólo viajar aproximadamente 5000 millas punto-a-punto a velocidad de la luz, ayudando a eliminar los retrasos sufridos durante una llamada telefónica hecha por satélite.

Hay varias ventajas y desventajas de cada tecnología, pero la diferencia mas importante es que los cables submarinos intercontinentales se muestran eficaces en rutas grandes como las rutas transpacíficas y transatlánticas aunque la tecnología del satélite es ideal para rutas de escaso tráfico como por ejemplo el sistema DAMA, que une varias naciones de Pacífico Sur. El satélite también es ideal para una amplia cobertura geográfica donde el abonado constantemente está en movimiento por ejemplo: los servicios de teléfono móviles, la industria de transportes y de embarque. La red INMARSAT de satélites geo-estacionarios proporcionan un servicio semejante y proyectos de gran futuro que involucran numerosos satélites de órbita baja diseñados para satisfacer la demanda que se esta ampliando para las comunicaciones móviles.

En el pasado las operadoras de telecomunicaciones confiaron en sistemas de satélite para llevar el volumen de su tráfico internacional. Con el advenimiento de sistemas de cable de fibra óptica y la calidad inherente que ellos proporcionaron, las operadoras han cambiado a los cables submarinos como su principal medio de comunicación. La última generación de cables submarinos ofrece niveles aun más altos de calidad y fiabilidad, las que se basan en la tecnología del amplificador óptico (sin regeneración de señal de un extremo al otro). A pesar de los adelantos que se hacen en los módem satelitales, los sistemas de satélite no pueden competir con esta calidad de servicio. Además los grandes clientes a nivel mundial están exigiendo cable de fibra óptica por razones de calidad.

Tecnologías de satélite y cable submarino trabajan juntos para reunir el diverso rango de servicios que el mercado está exigiendo. La tecnología del cable no hará la tecnología de satélite obsoleta, simplemente están cambiando el mercado donde cada sistema es óptimo.

### 2.2.5 Características de los Sistemas de Cable Submarino

- Conexión multipunto a multipunto - área de cobertura puntual.
- Capacidades muy altas.
- Gran alcance.
- Calidad / Rendimiento - No depende de las condiciones ambientales.
- Costo de construcción - Moderadamente alto.
- Costo de operación - Moderadamente alto.
- El uso de DWDM permite a los proveedores ofrecer servicios tales como e-mail, video y multimedia llevada como Protocolo Internet (IP), datos sobre el Modo de Transferencia Asíncrono (ATM) y voz sobre SONET/SDH. A pesar del hecho que estos formatos IP, ATM y SONET/SDH proporcionan capacidades únicas de administración de ancho de banda, los tres pueden ser transportados la capa óptica usando DWDM. Esta capacidad unificadora permite al proveedor de servicios la flexibilidad para responder a las demandas del cliente sobre una red.
- El uso de DWDM permite una plataforma que es capaz de unificar e interactuar con estas tecnologías y ubicar la portadora con la habilidad de integrar las tecnologías actuales y de la siguiente generación siendo detalle crítico para el éxito de una portadora.

**TABLA N°2.1 Comparación entre Sistemas de Transmisión**

	SISTEMAS DE TRANSMISIÓN				
	SATELITE	MICROONDAS	RADIO		CABLE
<b>Capacidad</b>	Media	Alta	Media	Baja	Muy Alto
<b>Rango (BW)</b>	Alto	Corto	Medio	Largo	Muy largo
<b>Cobertura</b>	Grande	Pequeña	Grande	Grande	Multipunto
<b>Calidad / Rendimiento</b>	Rendimiento afectado por condiciones ambientales con rangos variables				Calidad Consistente
<b>Tiempo de Instalación</b>	Largo	Corto	Corto	Corto	Largo
<b>Costo de Capital</b>	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Moderado a alto
<b>Costo de Operación</b>	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

## **2.2.6 Planificación para la Implementación de un Sistema de Cable Submarino**

### **a) Planteo de la Ruta del Cable.**

Una vez elegidas las posiciones de los terminales del sistema de cable, el siguiente paso es hacer el planteo de la ruta del cable. El objetivo principal de este estudio era seleccionar la ruta más corta y más económica con las máximas seguridades contra los agentes exteriores y también en segundo lugar obtener toda la información necesaria para determinar el diseño del cable y predecir los cambios en los parámetros eléctricos del cable que tendrán lugar con el tiempo cuando esté tendido en el fondo del mar. Luego es necesario determinar las variaciones anuales de temperatura a lo largo de la ruta, de modo que puedan predecirse las variaciones anuales del sistema y compensarse en el equipo terminal. A continuación tenemos las diferentes evaluaciones ejecutadas en esta etapa de planteo.

- **Evaluación de Playa.**

Primero se desarrolla un estudio de Ingeniería y riesgos a lo largo de las rutas propuestas. En un bote pequeño se realizan estudios de tierra y de buceo en cada uno de los sitios de aterrizaje, estudios geofísicos en zonas cercanas a la orilla y en aguas profundas son realizados por buques costaneros. El propósito de estos estudios es obtener la información necesaria para asegurar la apropiada instalación, diseño y mantenimiento del sistema del cable.

Los estudios terrestres son conducidos en cada uno de los puntos terminales para establecer un control de estudio para la futura instalación de cable. Los trabajos cerca a la orilla fuera de los 20 m de profundidad son realizados desde un Topógrafo de playa. Los datos de ondas sonoras de un solo haz, perfiles de conexión y de sonar convencionales son reunidos en cada uno de los sitios del desembarco del barco. Las zonas de oleaje y suelo marino se investigan fuera de los 20 m de profundidad por el equipo de buceo. Las fotografías y video del buceo son grabadas por el equipo de buceo en cada una de los sitios de llegada. Las imágenes de sonar son reunidas a través de la ruta en profundidades mayores a 20 m.

- **Proyecto de la Ruta**

Antes de proceder al tendido del cable se efectúa una prospección de ruta, para elegir la ruta del cable y la manera de protegerlo (protección de peso ligero, armadura, enterramiento). La prospección de ruta consiste en estudiar el perfil de profundidad del mar, la temperatura del fondo del mar y sus variaciones estacionales, la morfología y la naturaleza del fondo marino, la posición de cables y tuberías existentes, el historial de averías de cables, las actividades pesqueras y mineras, las corrientes marinas, la actividad sísmica, las legislaciones nacionales e internacionales, etc.

En esta etapa se emplean instrumentos geofísicos e hidrográficos, medidor de profundidad, sonar de tecnología Sónico Marina, y un velocímetro. El sistema de imágenes de sonar es utilizado para los requisitos de estudio de aguas profundas. Además es necesario tomar muestras del fondo marino en las áreas donde el cable se propone ser enterrado.

Los datos geofísicos se revisan para la interpretación geológica y evidencia de riesgos naturales y artificiales. El resultado de estos estudios pertinentes al diseño del cable se proyectan en los mapas de estudio y permite una explicación de las condiciones y características del suelo marino a lo largo de la ruta de cable de telecomunicación propuesta. Las escalas tomadas dependen de la profundidad del agua. Los mapas de Geomorfología se hacen en película pura como una cubierta a los mapas de mosaico de sonar. La interpretación de la examinación del sonar, las características del suelo marino, interpretación del sub-fondo, y la existencia de rasgos artificiales son presentadas en las cubiertas. La ruta es trazada en cada uno de mapas con fijación de kilómetros (KP) y otra información pertinente de ingeniería.

- **Carga - Tendido - Igualación.**

Se establece el programa completo de carga y tendido aplicado a los problemas particulares del sistema y la distancia entre repetidores (generalmente de 9,8 millas náuticas (17,6 km). Se examinan por separado con detalle los métodos empleados en la carga, estibado, empalme y prueba del cable, poniendo especial énfasis en los problemas asociados a una carga de tal magnitud y señalando los resultados obtenidos.

En la parte del tendido se especifica la composición de los equipos de personal de los barcos y se hace referencia especial a las ventajas de tender un tramo marino cada 24 horas.

Se indica el diagrama de operaciones para utilizar un pequeño procesador a bordo del buque y obtener los requisitos básicos de las redes submarinas.

- **Sondeo de Ruta**

El sistema se prueba al final del tendido, y puede probarse durante el mismo, para tener la seguridad de que no se ha provocado en él ninguna degradación importante. La prueba del tendido comprende pruebas de transmisión y funcionales y puede incluir pruebas en submontajes redundantes. Para efectuar la prueba durante el tendido del cable se podrá suministrar energía al enlace, siempre que se respeten los reglamentos relativos a la seguridad.

Durante el tendido, se tiende un sobrelargo de cable predeterminado (holgura), para tener la seguridad de que el cable yace convenientemente en el fondo del mar.

### ***2.2.7 Calidad en los Sistemas de Cable Submarino de Fibra Óptica***

Los elevados requisitos de calidad de funcionamiento y fiabilidad establecidos para un sistema de cable submarino de fibra óptica pueden satisfacerse únicamente si se aplican estrictos procedimientos de control de calidad durante el diseño, fabricación y tendido del sistema. Aunque los procedimientos de control de calidad son específicos para cada suministrador de cable submarino de fibra óptica, normalmente se aplican las siguientes reglas básicas.

#### **a) Cualificación de diseños y tecnologías**

Esta actividad, parte del proceso de desarrollo, tiene por objeto demostrar que el comportamiento de una tecnología, de un componente o de un conjunto es compatible con la calidad de funcionamiento general del sistema y ofrece una garantía razonable de que puede cumplirse el objetivo de fiabilidad. La cualificación incluye pruebas de resistencia, destinadas a estimar el grado de robustez de la tecnología, de los componentes o de los conjuntos y determinar el procedimiento de selección y pruebas de vida útil a largo plazo (algunas de las cuales pueden acelerarse, por ejemplo, por la temperatura) y cuyo objeto es confirmar la validez del procedimiento de selección y evaluar la vida útil y/o la fiabilidad de la tecnología, los componentes o el conjunto. La cualificación de un cable o equipo submarino puede incluir también pruebas prácticas en el mar.

### **b) Certificación de componentes y conjuntos**

Esta actividad, que forma parte del proceso de fabricación, tiene por objeto asegurar que tiene cada componente o conjunto puede satisfacer las especificaciones de calidad de funcionamiento y de fiabilidad una vez instalado. En los equipos submarinos, se certifica cada uno de los componentes.

Esta certificación se basa en los resultados de las pruebas de selección destinadas a suprimir todo elemento o componente no satisfactorio, especialmente aquellos que presentan averías tempranas.

### **c) Inspección de la fabricación**

Esta actividad, realizada durante el proceso de fabricación, tiene por objeto verificar que se respeta el plan de calidad, que cada operación se lleva a cabo según el procedimiento acordado y que el resultado es satisfactorio.

La responsabilidad de la inspección de la fabricación puede compartirse entre el propio fabricante y los compradores del sistema de cable submarino de fibra óptica.

### **d) Puesta en servicio del Sistema**

Las pruebas de puesta en servicio se realizan antes de cursar tráfico por el sistema a fin de asegurar que éste satisface los requisitos globales de calidad de funcionamiento de la transmisión y que lleva a cabo todas sus funciones.

Si se utiliza redundancia en el diseño para cumplir la característica de fiabilidad, el componente redundante puede utilizarse para corregir las averías que aparezcan durante el tendido o antes de la puesta en servicio. Sin embargo, el objetivo es asegurar que el número de dispositivos redundantes disponibles es suficiente para satisfacer, con un alto grado de probabilidad, el objetivo del número de reparaciones en el barco.

## **2.2.8 Tipos de Cables Submarinos**

A continuación se hace una breve descripción de los cables empleados seguida de las características exigidas para las materias primas utilizadas, Sigue una descripción detallada de las distintas etapas donde son empleados tanto de los cables de peso ligero como de los armados, junto con una indicación del control aplicado en cada caso, desde el punto de vista del trabajo de los operarios, como de las máquinas y pruebas finales.

El cable submarino de fibra óptica va protegido donde así se requiere. Hay diferentes tipos de cables caracterizados por su estructura mecánica: cables de peso ligero, cables protegidos de peso ligero, cables armados ligeros, cables de armadura simple, cables de armadura doble y cables de armadura de roca.

El cable de fibra óptica sumergido puede ser:

- un cable submarino con repetidores;
- un cable submarino sin repetidores;
- un cable terrenal adaptado al mar (MTC, *marinized terrestrial cable*).

Los cables submarinos con repetidores pueden utilizarse en todas las aplicaciones bajo el agua y los cables submarinos sin repetidores en todas las aplicaciones MTC.

Los cables submarinos sin repetidores son igualmente adecuados para su utilización en aguas profundas y poco profundas.

Para proteger las fibras ópticas se utilizan normalmente dos tipos genéricos de estructura de cable:

Estructura de cable tenso, donde la fibra se mantiene firmemente unida al cable de manera que su elongación es prácticamente igual a la del cable;

Estructura de cable suelto, donde la fibra puede moverse en el interior del cable de manera que su elongación es inferior a la del cable, siendo nula hasta que la elongación del cable alcanza un valor determinado.

Además, el cable debe proteger a la fibra contra el agua, la humedad y la presión externa, debe limitar igualmente la penetración longitudinal de agua tras la ruptura del cable a la profundidad de utilización.

En los sistemas de Cables Submarinos se despliegan varios tipos de cables de onda de luz SL (Submarine Lightwave) estándar fabricados por Simplex para TSSL (TYCO Submarine Systems Ltd.). Todos los cables están equipados con dos pares de fibra de dispersión desplazada (DSF).

El cable submarino SL provee los siguientes beneficios:

Efectiva protección para las fibras ópticas y el conductor de energía por 25 años o más en un ambiente marino.

El robusto diseño del cable le permite resistir la tensión y el estiramiento asociados a los trabajos de instalación y reparación.

Los tipos de cable son apropiados para su uso en aguas profundas, aguas superficiales y tierra.

Las características de manipulación son compatibles con los actuales equipos de manipulación de cables.

El conductor de energía del cable lleva las señales de localización de fallas.

En los Sistemas de Cable Submarino, se despliegan los siguientes tipos de cable SL de TSSL :

- **SL ligero (LW)**
- **SL de aplicaciones especiales (SPA)**
- **SL de hilo ligero blindado y alta resistencia (LWA-HS)**
- **SL de doble blindaje y alta resistencia (DA-HS)**

El núcleo de estos tipos de cable es el cable ligero SL (LW), al ir agregando capas adicionales de protección en el núcleo de LW se obtienen los demás tipos de cable arriba mencionados y son usados dependiendo de las condiciones del entorno del sistema.

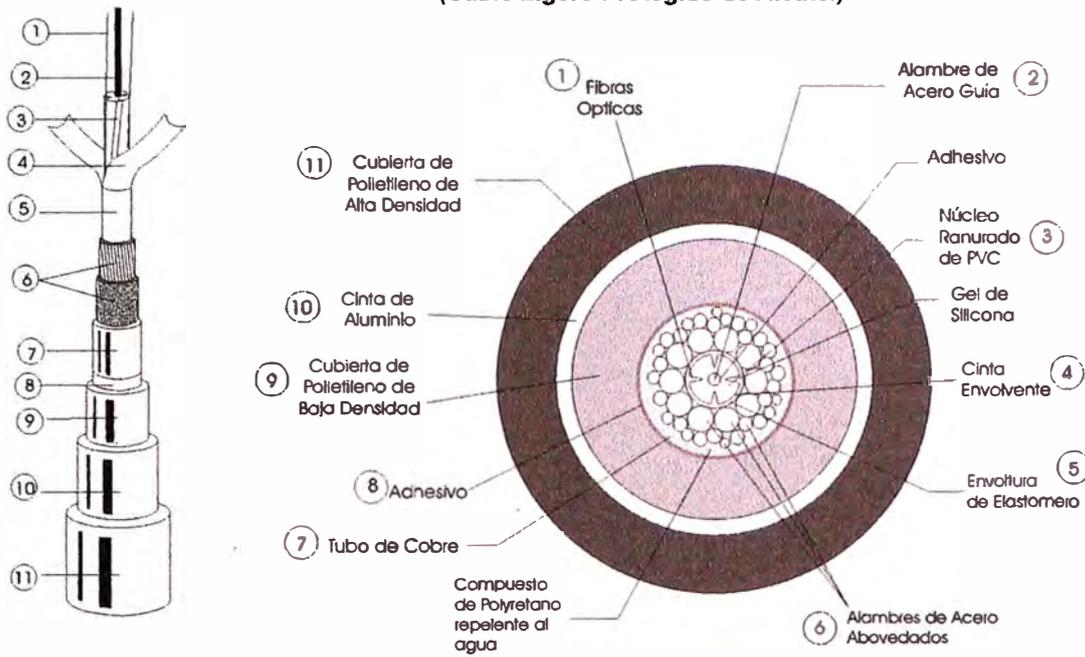
**TABLA N° 2.2. Parámetros Eléctricos del Cable de TSSL**

<b>Parámetro</b>	<b>Valores según TSSL</b>
Resistencia del conductor	0.74 $\Omega$ /Km a 3 °C 0.77 $\Omega$ /Km a 10 °C 0.80 $\Omega$ /Km a 20 °C
Resistencia de aislamiento	> 2.0 Tera- $\Omega$ -Km
Capacitancia calculada	0.18 microfaradios/Km
Voltaje de alimentación	10 KV máximo

**TABLA N° 2.3. Datos de los Tipos de Cable de TSSL**

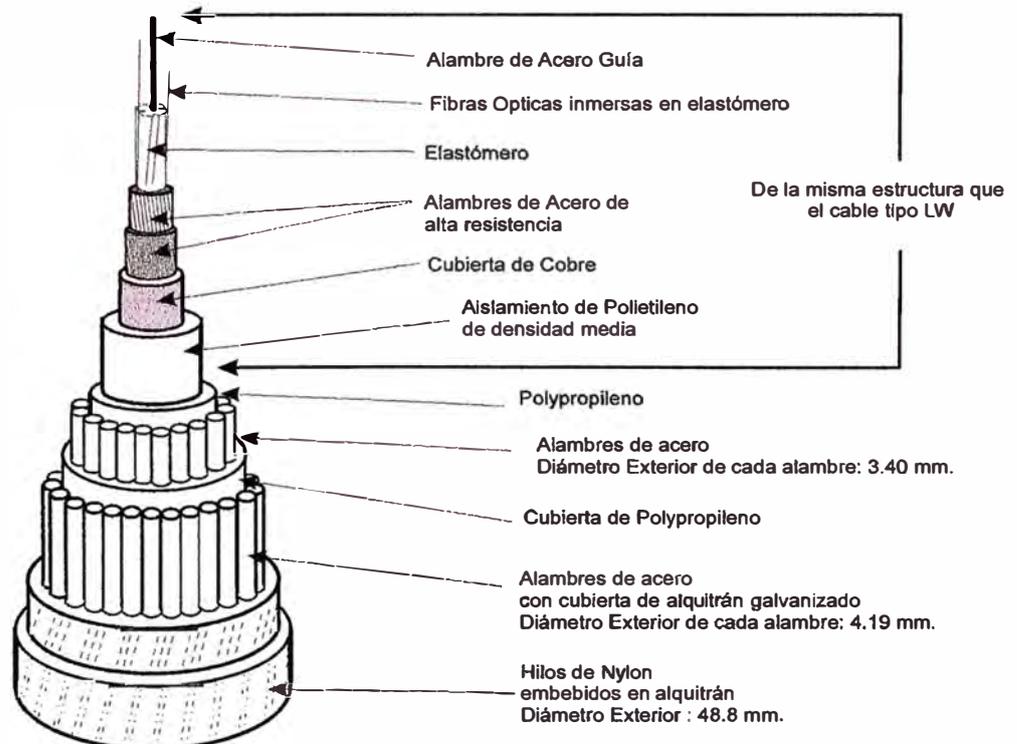
<b>Tipo de cable</b>	<b>Diámetro (mm.)</b>	<b>Peso en el aire (kN/Km)</b>	<b>Peso en el Agua (kN/Km)</b>
LW	21.00	8.3	4.8
SPA	31.80	13.4	5.4
LWA-HS	36.80	30.1	20.4
DA-HS	48.80	63.9	48.3
<b>Tipo de cable</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>Características</b>	
Ligero (LW)	Fondo arenoso benigno. Profundidad a 7500 m.	Núcleo del cable, menor protección.	
Aplicaciones especiales (SPA)	Fondo un poco rocoso. Riesgo de ataques de tiburones. Profundidad a 5000 m.	Cinta metálica y segundo forro de polietileno aplicados sobre el núcleo. Protección adicional contra desgaste. Protección contra ácido sulfhídrico.	
Hilo ligero blindado de alta resistencia (LWA-HS)	Terreno rocoso. Alto riesgo de daños de jábegas. Profundidad a 1200 m. Usado típicamente para enterrado.	Capa de hilo blindado aplicada al núcleo del cable. Protección adicional.	
Blindaje doble de alta resistencia (DA-HS)	Zona de oleaje, coral, roca volcánica. Alto riesgo de daños de jábegas. Profundidad a 400 m.	Dos capas de hilo blindado aplicadas al núcleo del cable. Protección adicional.	

**Light Weight Protected Cable Type LWP  
(Cable Ligero Protegido de Alcatel) \***



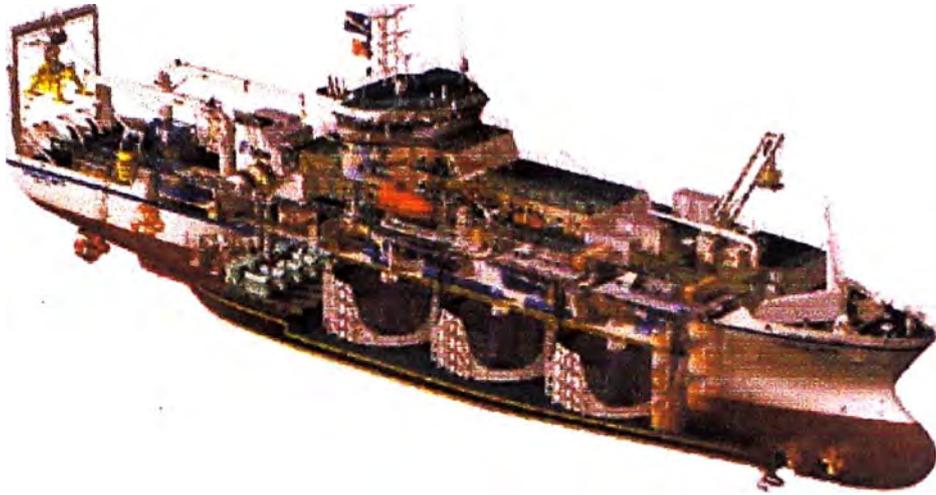
**Fig. 2.6 Cable submarino Ligero Protegido LWP empleado en los tramos terrestres de los sistemas submarinos**

**Cable Tipo DA-HS (Doble Armadura) de TSSL**



**Fig. 2.7 Cable submarino de doble Armadura Tipa DA-HS**

### 2.2.9 Los Barcos Cableros



**Fig. 2.9. Esquema del Barco Cablero**

El advenimiento de la fibra óptica y el importante papel que la Compañía Telefónica llegó a tener en el negocio de cables submarinos, llevó a ésta a crear su propia Compañía de Buques Cableros que hasta hoy día sigue trabajando con éxito en ese mundo. En 1999 Telefónica vendió dicha Compañía a la Empresa americana Tyco.

Pero antes de seguir con la historia digamos qué es un Buque Cablero. Un Buque Cablero, es un buque cuya misión fundamental es la de tender cables submarinos de telecomunicaciones y realizar posteriores reparaciones de estos cables, que sufren averías principalmente debidas a las anclas y a pesca de arrastre.

Es un buque de gran sofisticación y alta tecnología. Debe ser fácilmente maniobrable a muy bajas velocidades, mantener una posición fija en cualquier zona del mundo y bajo duras condiciones de corrientes marinas y atmosféricas, seguir una ruta predeterminada con una precisión de metros y estar equipado con los equipos específicos necesarios para realizar la batimetría, el tendido y reparación de cables submarinos.

El tendido de un cable submarino es un proceso complejo, altamente preciso y delicado, por lo que requiere una maquinaria específica y unos equipos especiales para controlar los parámetros del tendido del cable en todo momento.

El cable submarino debe adaptarse perfectamente al perfil del fondo del mar, éste, como la superficie terrestre tiene numerosas irregularidades. El cable debe ser tendido por el buque a una velocidad y tensión adecuada, variable a lo largo de su ruta, largando una cantidad de cable adicional (holgura) con el fin de que el cable se adapte al fondo.

## **a) Composición de un Buque Cablero**

Un buque cablero es reconocido externamente por la forma de su proa y su popa. Estas equipan unas grandes roldanas o rampas para el tendido y recuperación de los cables.

Sus principales partes son:

Tanques de cable. Para almacenar los diferentes tipos de cable, los buques van equipados en su interior con unos grandes tanques circulares. Estos tanques ocupan la mayor parte del interior del buque.

Maquinaria especial para tender o recuperar los cables. Estas máquinas van provistas de un gran número de pares de ruedas, o cadenas tipo caterpillar, entre las cuales pasa el cable y unos tambores circulares con los que se controlan la tensión, velocidad y longitud de cable que es izado o tendido.

Laboratorios de medidas de transmisión óptica. Durante el tendido del cable es necesario ir comprobando en todo momento el perfecto funcionamiento del sistema, para lo cual existe todo tipo de equipos de medidas sobre fibra óptica, totalmente duplicado o triplicado.

Sala de empalmes. Para la realización de los empalmes de los diferentes tipos de cable. La realización de un empalme en un cable de fibra óptica submarino es un proceso que requiere unas técnicas especiales y una gran especialización en todas sus fases. Esta sala está equipada con todos los equipos necesarios duplicados o triplicados para la realización de estos empalmes.

Sistemas de posicionamiento y control del buque. El puente de mando está completamente computerizado y monta equipos duplicados de posicionamiento dinámico vía satélite. Así mismo la sala de máquinas está completamente automatizada, de tal forma que puede ir en régimen desatendida.

## **b) El Sistema de Posicionamiento Dinámico del Buque**

El Buque debido a los trabajos que realiza, necesita un sistema que le permita mantener su posición lo más estable posible, es así que posee un sistema de Posicionamiento Dinámico – DP, el cual recibe la información del error de posición de 3 tipos de sistemas, el GPS, el Winfrog (DGPS) y el Tautwire, con lo cual otorga prioridades y evalúa los errores de acuerdo a lo cual corrige el curso o mantiene una posición establecida.

El GPS es el sistema convencional que utilizan todos los barcos. El Winfrog o GPS diferencial además utiliza una estación en tierra, lo que le permite determinar mejor el

error de posición. El Tautwire (**figura 2.9**) es un sistema que se utiliza solamente en aguas poco profundas y cuando el barco se encuentra estacionado, consiste en un cable que permanece tensionado por un peso fijado en el zócalo marino, el cual posee sensores alrededor de él lo que le permite verificar si el ángulo con la horizontal ha sufrido alguna variación y de acuerdo a esto le envía información al sistema DP. En términos comparativos, el GPS convencional permite una aproximación de posición de hasta 50m, el Winfrog de hasta 1m y el Tautwire de hasta 0,5m aproximadamente.



**Fig. 2.10. El Tautwire siendo colocado en el mar**

Para efectuar la corrección de posición el barco posee 4 Thrusters (2 en la proa y 2 en la popa) y una propela principal que son accionados por el sistema DP. Los thrusters son unas propelas giratorias que permiten al barco realizar maniobras tales como retroceder, avanzar o desplazarse hacia los lados. El sistema DP al elegir el error de posición, acciona alguno de estos dispositivos y de esta manera corrige la posición. Este sistema es completamente automático y se encuentra en el puente de navegación del barco.

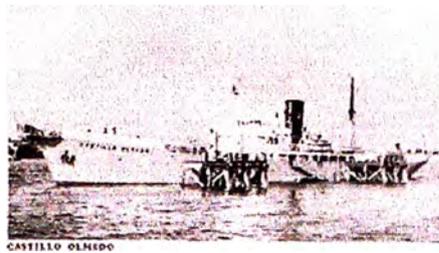
### **c) Algunos Buques Cableros**

Hasta el año 1985, la Compañía Telefónica dependía de compañías extranjeras, tanto para la instalación como para las posibles reparaciones de sus inversiones en cables submarinos que en aquel entonces llegaron a ser las segundas mas importantes del mundo, detrás tan sólo de la AT&T. Para el mantenimiento se acudía a Acuerdos internacionales que existían y siguen en la actualidad dando servicio en las diferentes áreas del globo.

Con el fin de eliminar esta dependencia tecnológica de terceros en este campo, Telefónica decidió la construcción de un buque cablero español. Este proyecto tuvo dos propósitos principales: por un lado proveer a Telefónica de toda clase de servicios

marinos para la instalación y mantenimiento de sus propias redes de cables submarinos; y por otro, establecer un centro de beneficios dedicado a los sistemas de cables submarinos facilitando detallada información de los costes de su mantenimiento.

Para llevar a cabo esta misión, Telefónica creó una empresa filial: TEMASA (Telecomunicaciones Marinas S.A.) que se encargó del desarrollo, construcción y operación del buque. Se realizaron grandes esfuerzos para conseguir la calidad de construcción requerida y después de 31 meses de construcción el BC ATLANTIDA fue puesto en servicio en Enero de 1.988 comenzando a prestar servicio dentro del acuerdo ACMA en Marzo del mismo año. Teniendo su puerto base en Vigo, donde construyó un depósito de almacenamiento de cables submarinos.



**Figura 2.11 CASTILLO DE OLMEDO**

Eslora total: 81,78 mts.

Manga: 10,92 mts.

Calado: 5,56 mts.

Arqueo bruto: 1.481 TRB.

Propulsión: Triple expansión.

Una hélice Velocidad máxima: 11 nudos

Autonomía: 3.000 millas náuticas



**Figura 2.12. ATLÁNTIDA**

Eslora total 114 m.

Eslora entre perpendiculares 99 m.

Manga 18,5 m.

Calado máximo: 6,5 m.

Peso muerto 3.800 Tm.

Desplazamiento 7.854 Tm.

Tripulación 40 personas

Velocidad máxima 15 nudos

Acomodación máxima 100 personas

Autonomía 6.800 millas náuticas



**Fig. 2.13 TENEEO**

Eslora total 81 m.

Eslora entre perpendiculares 72 m.

Manga 14 m.

Calado máximo: 5,7 m.

Peso muerto 1.737 Tm.

Tripulación 32 personas

Velocidad máxima 14 nudos

Acomodación máxima 60 personas

Autonomía 4.200 millas náuticas



**Fig. 2.14 IBERUS**

Eslora total 136 m.  
Eslora entre perpendiculares 120 m.  
Manga 19,2 m.  
Calado máximo 6,6 m.  
Peso muerto 5.650 Tm.  
Tripulación 36 personas  
Velocidad máxima 15 nudos  
Acomodación máxima 62 personas  
Autonomía 12.000 millas náuticas



**Figura 2.15. Buque Cablero Atlántida**

El BC ATLANTIDA fue construido en los astilleros ASTANDER, en SANTANDER. Fue botado en 1.987 y su madrina fue la Reina de España.

El BC ATLANTIDA incorpora la tecnología más avanzada en este tipo de buques. Está completamente equipado para realizar los trabajos de instalación y mantenimiento de los modernos sistemas submarinos de comunicaciones por fibra óptica. Su autonomía y capacidad le permiten realizar tendidos de hasta 5.300 Kms. con cable de 14 mm. de diámetro.

Está dotado de propulsión diesel-eléctrica, controlada mediante un sistema de posicionamiento dinámico (DP). Como sistemas de referencia dispone de posicionamiento vía satélite con corrección diferencial (DGPS), asegurando una precisión mayor de 10 m. También está provisto de un sistema de posicionamiento hidroacústico (HPR) para el desarrollo de operaciones con sumergibles filoguiados.

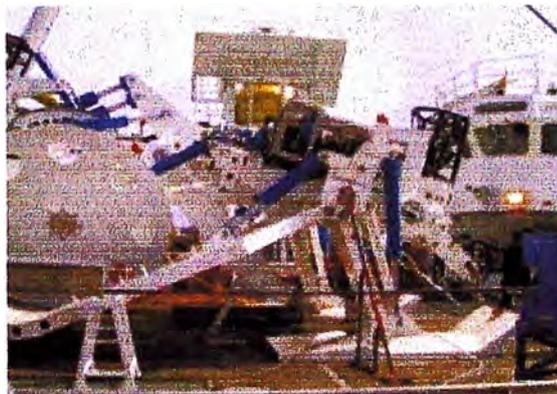
Su avanzado sistema de navegación y tendido permite monitorizar y controlar de forma continua todos los parámetros característicos de la operación, asegurando el total cumplimiento de los requisitos de calidad.

Para los trabajos específicos de tendido y reparación de cables, dispone de salas y áreas delimitadas para la realización de empalmes, pruebas de transmisión y telealimentación, pruebas radiográficas, etc. así como los complejos equipos necesarios para estos trabajos.

Otra característica destacable es la capacidad para operar con vehículos sumergibles, tanto propios como ajenos. Esta especialmente adaptado para realizar operaciones de tendido con enterramiento, utilizando los sumergibles denominados ARADO. También está equipado para realizar posteriores inspecciones y enterramientos con los ROVs (Remote Operate Vehicle) NEREUS.

Dispone de habilitación para 100 personas, con camarotes y zonas de descanso de alto nivel de confort.

**Hasta la primavera de 2001 ha permanecido trabajando para el acuerdo ACMA, teniendo su base en Vigo y desde la que ha realizado mas de 90 operaciones sobre cables submarinos, siendo uno de los buques que mas reparaciones ha realizado, sobre todo tipo de cables, tanto analógicos (ya en desuso) como de fibra óptica en el mundo. Desde entonces permanece en Montevideo (Uruguay) dentro del Acuerdo de Mantenimiento SEAHORSE Sudamérica, para el mantenimiento del sistema de fibra óptica de Emergia SAM-1.**



**Fig. 2.16 TENEO**

- **Buque Cablero Teneo**

Durante 1.990 Telefónica realizó un estudio sobre el mantenimiento de los cables submarinos en el Mediterráneo, donde poseía una amplia red y donde solo existía un buque francés (NC Raymond Croze) para el mantenimiento de dicha red. Por razones de seguridad se decidió construir un nuevo buque cablero y compartir el mantenimiento con el buque francés.

La relación entre las compañías telefónicas española, francesa e italiana contribuye a establecer las bases para la creación de un acuerdo de Mantenimiento de cables submarinos para el área del Mar Mediterráneo: MECMA.

Telefónica decide construir el BC TENEO y una base de operaciones y depósito de cables submarinos en Valencia.

El BC TENEO fue construido en los astilleros Barreras de Vigo y su botadura se realizó en Diciembre 1.992, siendo su madrina la Infanta Elena. A comienzos de 1.993 el BC TENEO comienza a prestar servicio dentro del acuerdo de mantenimiento MECMA, realizando su primera operación sobre el cable griego Apolo.

Al igual que el BC Atlantida, incorpora la tecnología mas avanzada propia de estos buques. La diferencia mas significativa con el Atlantida es su menor tamaño, que da lugar a una autonomía y capacidad para realizar tendidos de 2.000 Kms, de cable de 14 mm. de diámetro.

Así mismo está capacitado para operar con cualquier tipo de vehículos sumergibles, tanto Arados como Nereus. Hasta hoy tiene en su haber mas de 60 operaciones sobre cables submarinos.

- **Buque Cablero Iberus**

Dado el éxito de los dos buques anteriores y con el ánimo de ampliar sus actividades Telefónica-Temasa decide ampliar su flota construyendo un nuevo buque para entrar en el negocio de los grandes tendidos de nuevos sistemas de cables submarinos de fibra óptica.

Se compró un buque ro-ro y en 8 meses se le transformó en cablero en los Astilleros Barreras de Vigo. Entre Abril y Julio de 1.999 el BC IBERUS realizaba su primer tendido en el Atlántico para el sistema Atlantis-2.

El BC IBERUS ha sido diseñado como buque cablero para trabajos de tendido y reparación por popa lo que implica mejor mantenimiento de la posición, mayor protección para el personal, disponer de áreas de cubierta mas extensas y un mejor uso de la maquinaria de cable.

Desde entonces el BC IBERUS ha participado en el tendido de los sistemas de cable submarinos mas importantes del mundo tales como:

PAC-1 entre Panama y Tijuana (México) y entre Panamá, Venezuela y las Islas Vírgenes en el Caribe.

Américas-2 entre Brasil y las Islas Vírgenes.

PC-1 entre California y Japón.

Hibernia (360 NETWORK) entre Inglaterra y Canada.

TGNA entre Inglaterra y USA.

ARCOS, un anillo que une todos los países del Caribe.

C2C entre Corea del Sur, Taiwán, Sanghai, Singapur, etc.

TGNP entre Japón y Guam.

El BC IBERUS lleva a bordo el sumergible ARADO, con el que es capaz de enterrar el cable en una zanja de 1.5 mts de profundidad en el fondo del mar hasta unas profundidades de 1.500 mts. quedando el cable perfectamente protegido contra agresiones externas.

También está preparado para operar con cualquier tipo de vehículo sumergible, para lo que dispone del sistema de posicionamiento hidroacústico HPR.

Equipa tres tanques de almacenamiento de cable de 885 mc. de capacidad, lo que le capacita para realizar tendidos trasatlánticos de una sola vez.

#### **e) Barcos Cableros en la Actualidad**

En Mayo de 1.999, Telefónica vendió la empresa filial TEMASA a la empresa americana Tyco, no obstante los tres buques siguen llevando bandera española. Actualmente el BC ATLANTIDA está desplazado en Montevideo (Uruguay) donde permanece alerta para el mantenimiento del cable submarino SAM-1 (Propiedad de Telefónica y Tyco). Este cable es uno de los mas importantes del continente americano uniendo Argentina, Brasil, Chile, Perú, Guatemala y EEUU.

El BC TENEO presta sus servicios dentro del Acuerdo de mantenimiento MECMA, en la zona del mar Mediterráneo, turnándose entre las bases de Valencia y Kalamata (Grecia).

El BC IBERUS está tendiendo el cable TGNP (Tycom Global Network Pacifico) entre Japón y la Isla de Guam. Este cable propiedad de Tyco es el mas avanzado tecnológicamente del mundo. Cuando el sistema entre en servicio podrá mantener el equivalente a 600 millones de comunicaciones simultaneas entre Japón y EEUU.

Como ya mencionamos anteriormente, para el tendido del cable el barco cuenta con la siguiente infraestructura:

**Sala de Control de Cable – CCR ( Control Cable Room)**

**Sala de Pruebas de Transmisiones – TTR. (Trasmisión Test Room)**

**Motor Linear para Cable – LCE. (Linear Cable Engine)**

**Arado Marino - Sea Plow.**

**Camino del Cable - Cable Highway.**

**Cable Terminal Equipment – CTE**

**Zona de empalmes**

## Tanques de almacenamiento

### Sistema de Posicionamiento Dinámico – DP

#### 2.2.10 Proceso de Tendido del Cable

A seguir explicaremos el proceso de tendido de acuerdo al orden con el que se realizaron los trabajos y al mismo tiempo daremos detalles sobre la infraestructura mencionada anteriormente.



**Fig. 2.17 Buque Cablero “ Global Sentinel”**

#### a) Direct Landing

El Direct Landing se refiere a los trabajos que se realizan en la playa. Una vez que el barco se encuentra en una posición fija, el primer paso es soltar la soga con las cuales se jalará el cable, esta será atada al extremo del cable que irá en la cámara de tierra. Al cable se le colocan unas boyas que le permitirán mantenerse a flote al momento de jalarlo hasta la playa, evitando así algún posible daño. Generalmente en esta etapa, como se trata de aguas no muy profundas se utilizan embarcaciones pequeñas y buzos de apoyo.

Una vez que el extremo del cable es asegurado en la cámara de playa, se procede a retirar y recoger los flotadores y la soga. Finalizado esto, el barco inicia el proceso de tendido.



**Fig. 2.18 Boyas durante el Direct Landing**



**Fig. 2.19. Embarcación de apoyo recogiendo las boyas**

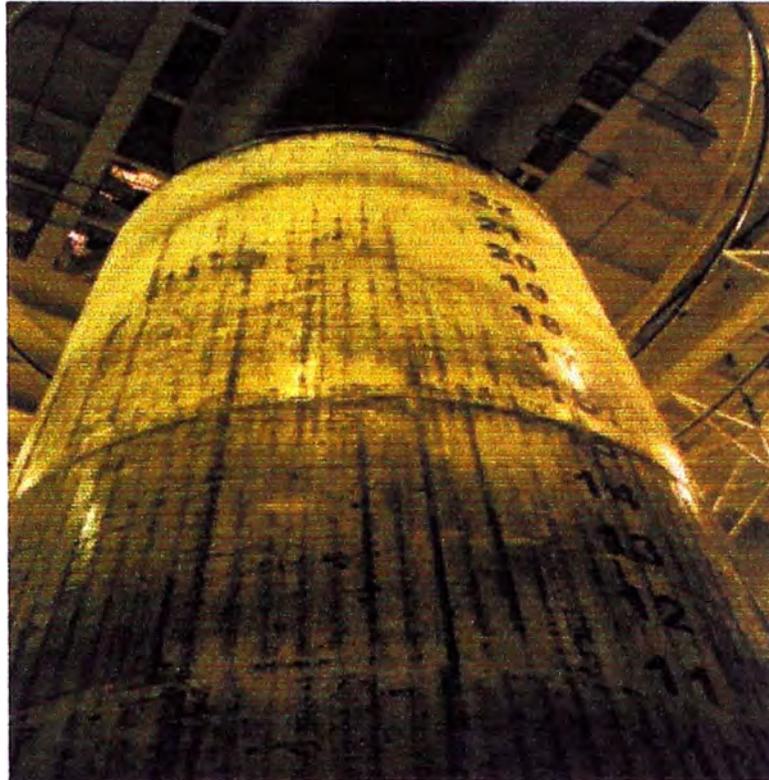
#### **b) Tanques de Almacenamiento**

El barco posee a lo largo 3 tanques de almacenamiento para cable de aproximadamente 7m de altura y 4 tanques mas pequeños para cable de repuesto (spare). Al interior de los tanques y en la parte central hay unos conos alrededor de los cuales el cable es colocado de manera circular, cubriendo todo el espacio entre las paredes del tanque y estos últimos. Todo el cable incluyendo empalmes se encuentra dentro de los tanques en cambio los repetidores y los extremos del cable están colocados fuera.

Dentro del tanque existen ascensores para el ingreso de personal y unas escalerillas por las cuales va el cable hacia los repetidores y los extremos de cable (cable end).

El retiro de cable de los tanques requiere de algunos cuidados, como por ejemplo cuando el cable que se está tendiendo es fino, la velocidad con que este es retirado de los tanques podría generar algún nudo o incluso el rompimiento de este, por lo tanto se

cuenta con una estructura de metal alrededor de los conos que es utilizada en estas situaciones. Asimismo durante el trabajo hay 2 personas dentro de los tanques que se encargan de comunicar la ocurrencia de algún *Evento* o la existencia de una marca de kilometraje, la que permite tener un control adicional de la cantidad de cable que se está tendiendo.



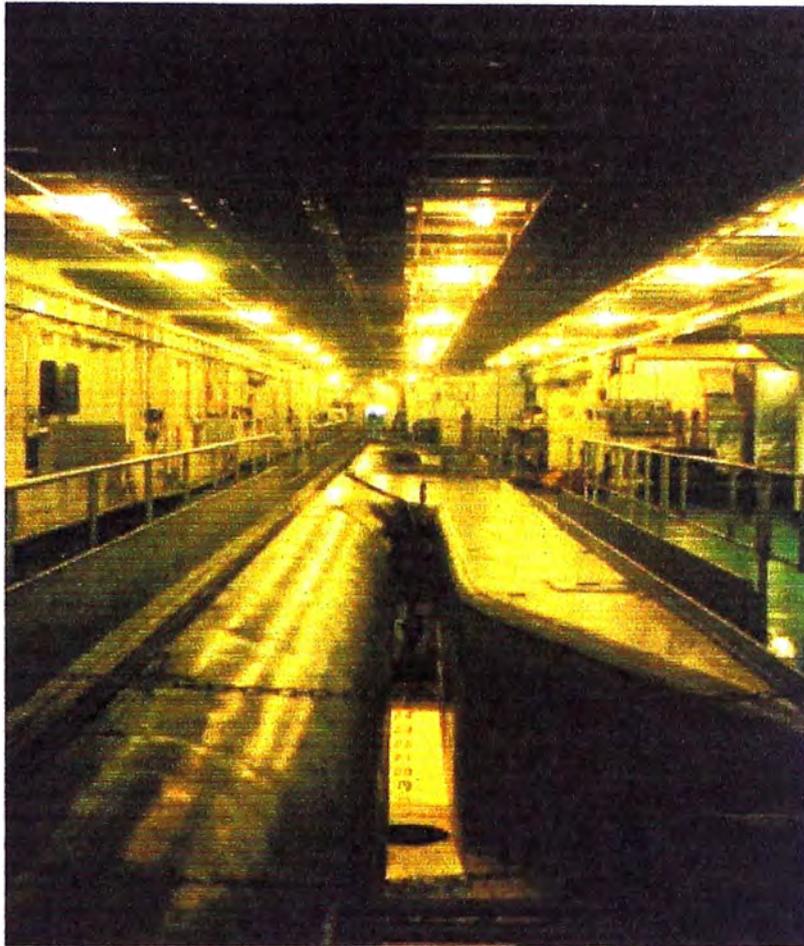
**Fig. 2.20 Tanque de Almacenamiento**

### **c) El Camino del Cable – Cable Highway**

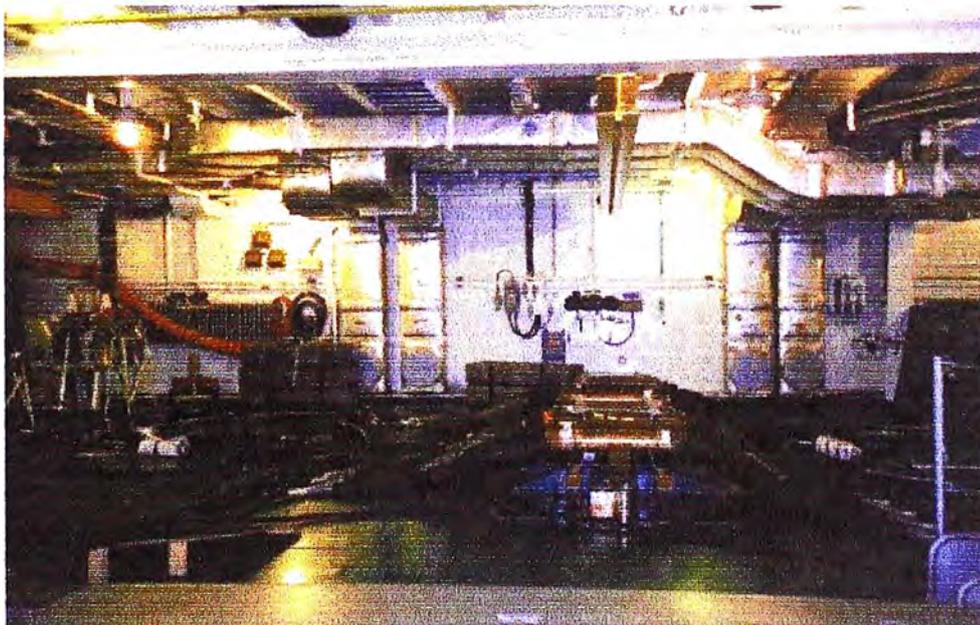
El cable, al salir de los tanques se dirige hacia el Cable Highway, que es una especie de corredor de aproximadamente unos 60m, dentro del cual hay una canaleta por la cual se desplaza el cable.

A los lados laterales de este corredor se encuentran los repetidores, los extremos del cable, la zona de empalmes, los sensores de temperatura de los repetidores y el CTE, este último es la interface entre la sala transmisiones y el cable. Como los repetidores se encuentran a los lados laterales, será necesario colocarlos en la canaleta para ser lanzados al mar, para lo cual se hace uso de las grúas que el Cable Highway posee en el techo.

En el camino el cable, se encuentra una persona permanentemente para comunicar la ocurrencia eventos y marcas de kilometraje.



**Fig. 2.21 Cable Highway**



**Fig. 2.22. Repetidores en la lateral del Cable Highway**

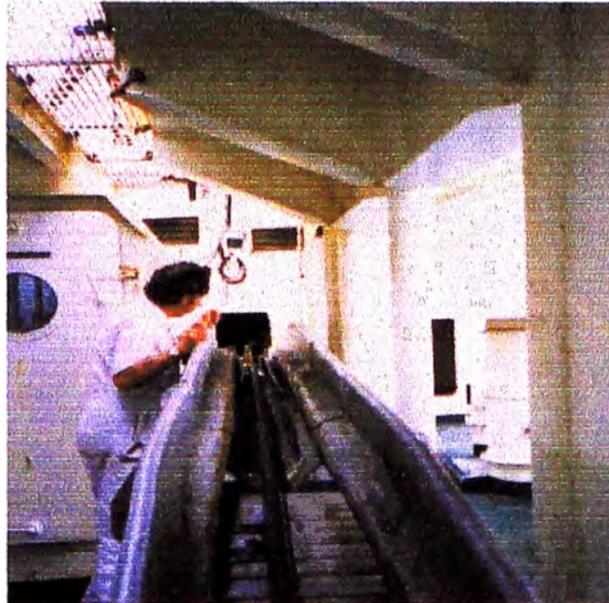
#### **d) El LCE – Linear Cable Engine**

Este sistema se encuentra ubicado al final del Camino del Cable y es el que jala el cable de los tanques y lo desplaza hacia la popa, donde a través de otra canaleta el cable irá hacia el mar.

El LCE es un sistema que consta de 2 hileras de 21 neumáticos separadas de 3 en 3, posee unos sensores que le permiten determinar el diámetro del cable de tal forma que al jalarlo se hará la presión exacta que evitará cualquier posible daño. Tiene una sala de control desde donde se operan manualmente la velocidad del cable y del barco y al mismo tiempo se registran y supervisan la tensión y longitud de cable tendido y la ocurrencia de eventos. Este trabajo puede ser completamente realizado por las computadoras del barco, pero el control manual permite un trabajo más flexible, principalmente cuando se entierra el cable, pues en este caso la velocidad varía constantemente de acuerdo al tipo de suelo.



**Fig. 2.23 Repetidor pasando por el LCE**



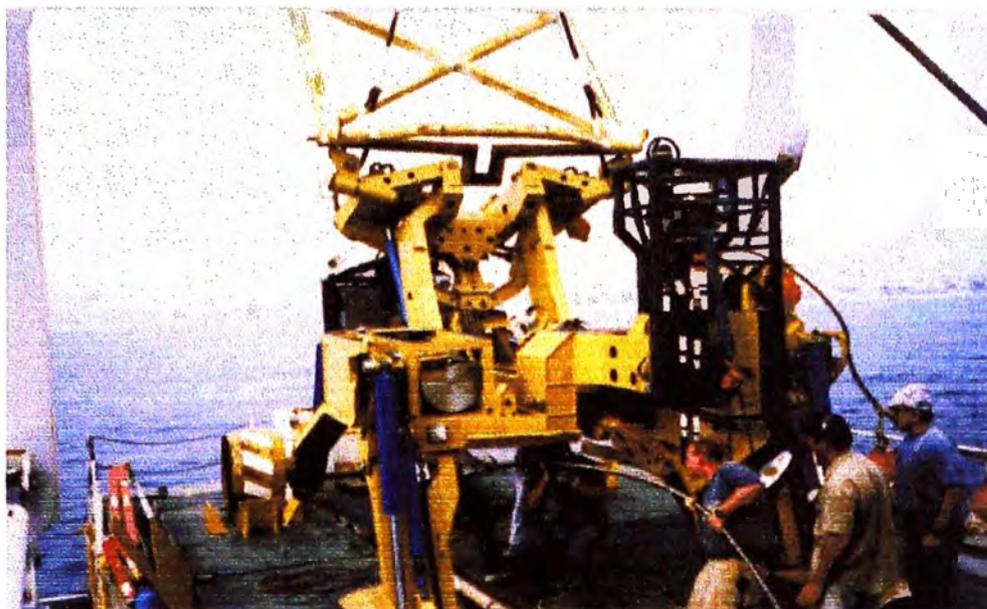
**Fig. 2.24. Canaleta para el cable en la popa**

#### **e) El Sea Plow – Arado Marino**

Para los trabajos de enterrado del cable se hace uso del Sea Plow, autómatas que una vez en el fondo del mar y con el cable dentro de él, utiliza la misma filosofía de un arado convencional, es jalado o remolcado por el barco utilizando un cable de acero ubicado en su parte superior y va cavando una zanja en la cual es enterrado el cable. Existe una cabina de control desde la cual se dirige y supervisa el trabajo que realiza el Sea Plow, en donde se dispone de sonares y computadoras conectadas a través de un cable de comunicaciones a los sensores y cámaras de video que se encuentran en su estructura.

Los trabajos se realizan aproximadamente entre los 15 y 1000 metros de profundidad. La velocidad promedio del barco cuando se encuentra trabajando con el Sea Plow es de alrededor de 1km/h, y puede variar entre 0.4km/h y 0.9Km/h dependiendo del tipo de suelo. Asimismo, el cable es enterrado a una profundidad promedio de 130 cm debajo del suelo marino en terrenos blandos y unos 50 cm en terrenos más duros.

En determinadas áreas debido al terreno rocoso o al cruce con otros cables, el cable es simplemente colocado sobre la superficie, para esto el Sea Plow es levantado (sin retirarlo del agua) y jalado por el barco 500m antes del obstáculo y colocado en el fondo marino 500m después del obstáculo para continuar con el enterramiento, este proceso que se denomina Flying.



**Fig. 2.25. Personal colocando el cable dentro del Sea Plow**



**Fig. 2.26. Sea Plow entrando al mar**

#### **f) La Sala de Pruebas de Transmisiones**

Desde la sala de Transmisiones se verifican el estado de la fibra, del cable de cobre y de los repetidores. Para esto se cuenta con un PFE, equipos de medición como COTDR, OTDR, analizadores de espectro óptico y sensores de temperatura.

El PFE se encuentra en funcionamiento desde que se terminan los trabajos en la playa hasta el término del tendido y solamente es apagado cuando se realizan trabajos con el Sea Plow o hay una solicitud del personal de playa para realizar trabajos específicos. Se

encuentra conectado al CTE (Cable Terminal Equipment), que como ya fue mencionado es la interface entre el cable y los equipos de medición. Para el segmento O la corriente fue de 0.65mA y la tensión de 0,165V configurándose positivo y para el segmento N fue de 0,69mA y 0,169V configurándose negativo.

En lo referente a la fibra y al igual que la parte de energía, esta es monitoreada durante todo el tendido, los tests se alternaron para cada par de fibras de 15 en 15 minutos. En cuanto a la longitud de onda, solo fue utilizada una longitud de 1550nm generada por el COTDR.

Para la medición de temperatura de los repetidores se le conectan sensores cuyos valores son monitoreados en un Display que se encuentra en la sala de transmisiones, se registró un valor promedio de 23°C.

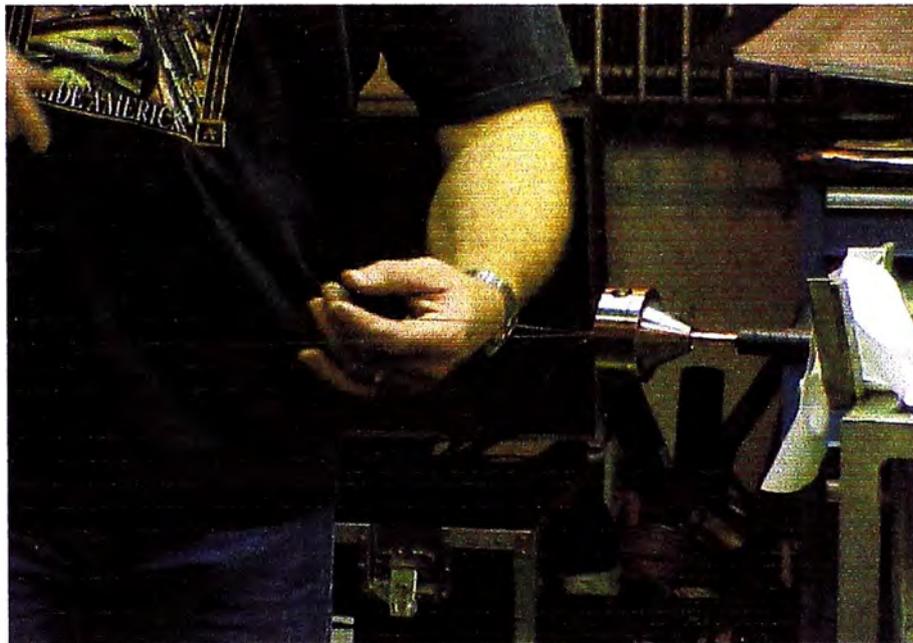


**Fig. 2.27. El PFE en la Sala de Transmisiones**

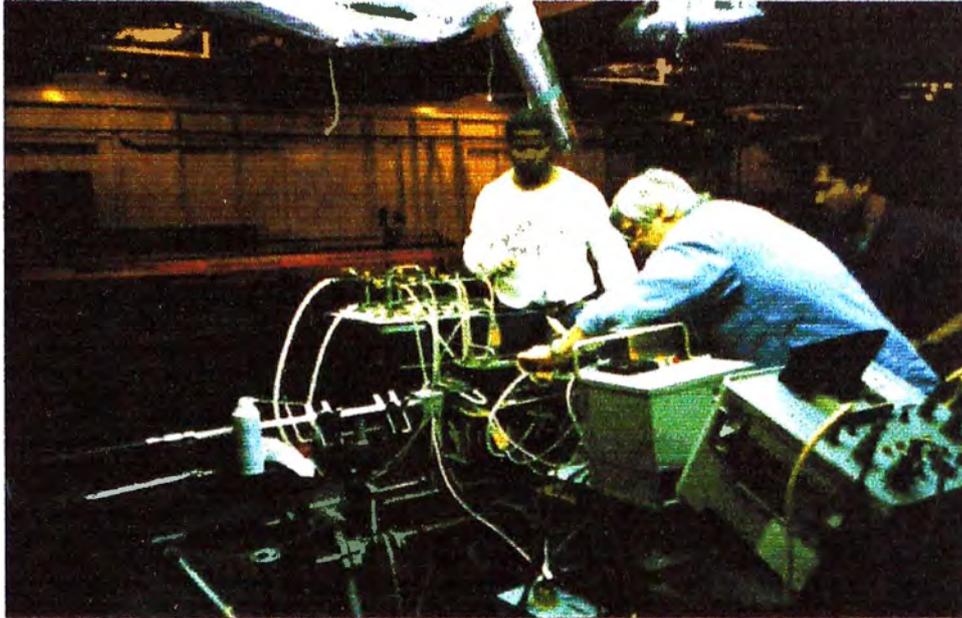
### **g) El Empalme**

Para realizar el empalme el barco necesita tener los dos extremos del cable entrando por la proa hasta la zona de empalme. Siendo así, en primer lugar se procedió a pasar el cable que se encontraba en el barco de la popa a la proa y ya con el cable en la zona de empalmes se procedió al retiro de las capas de protección y colocado de piezas de acero encajables en las que posteriormente se colocan las fibras empalmadas. Después de haber preparado el extremo para el empalme, se recibió el otro extremo de cable y a seguir se realizó la misma operación.

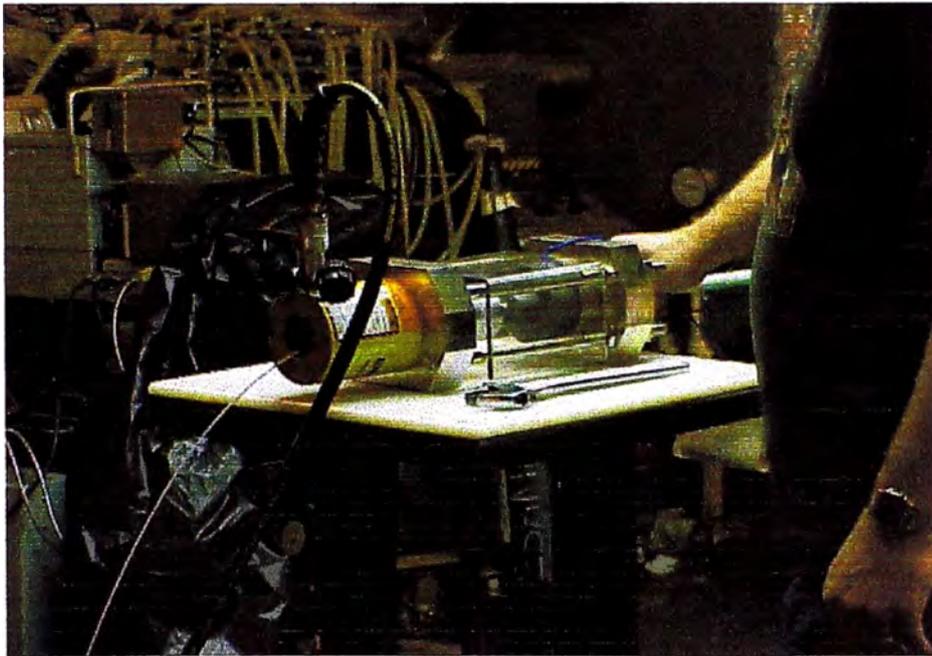
Con ambos extremos listos y encajados, se realizaron pruebas en todas las fibras utilizando el OTDR, verificando de esta manera si al momento de recuperar el cable, trasladarlo de popa a proa o al colocar las piezas de acero, este sufrió algún daño, las pruebas fueron exitosas y se procedió entonces a empalmar las fibras y realizar pruebas con un PFE portátil obteniéndose los mismos resultados. Con esto y utilizando una máquina de inyección de polietileno se colocó un recubrimiento sobre las piezas de acero utilizando luego una bomba de succión para retirar todo el aire que podría haber dentro y una máquina de rayos x para revisar su estado final. Se hicieron nuevas pruebas, las cuales al ser positivas dieron por terminado el empalme procediéndose a colocar las mangas y dejándolo listo para su posterior lanzamiento al mar.



**Fig. 2.28. Limpiando la fibra y colocando piezas de acero**



**Fig. 2.29. Trabajando con la Máquina de Inyección de Polietileno**



**Fig. 2.30. Bomba de Succión**

#### **h) Trabajos Finales**

Con el empalme listo se procede a colocarlo al mar y posteriormente todo el restante de cable.

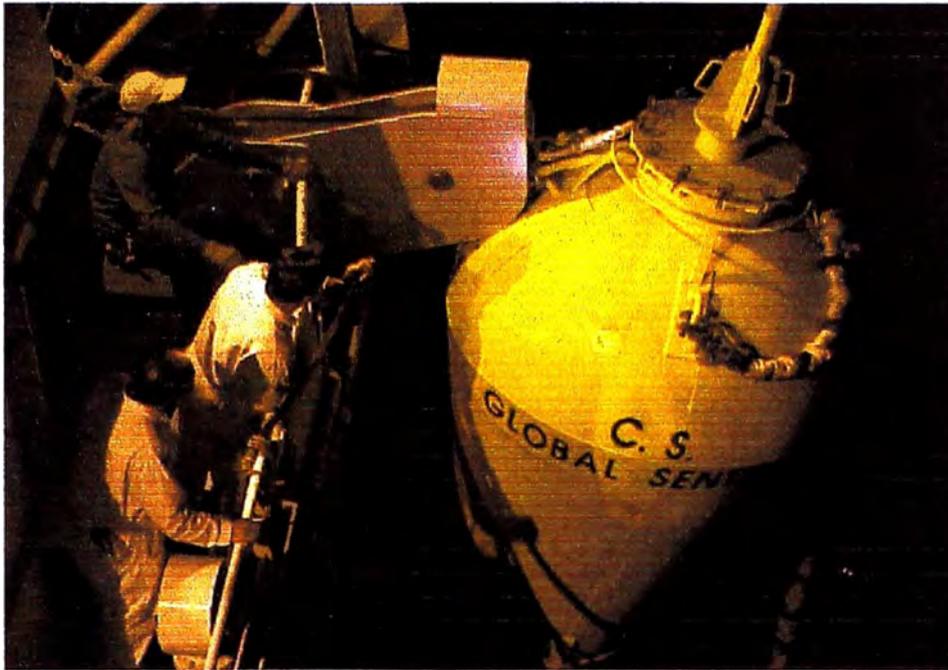


**Fig. 2.31. Cable y empalme siendo jalados desde el interior del barco hacia la proa**



**Fig. 2.32. Colocando el final del cable al mar**

En otros casos solo se deja un extremo en el mar asegurado por una boya, pues el Segero vendría posteriormente a realizar el empalme.



**Fig. 2.33 La boya que va junto con el cable**

#### **i) PLFB (Post Lay Inspection Burial)**

Una vez terminado el trabajo del buque cablero, las partes de cable que no fueron enterradas, por ejemplo, en cruces de cables (Panam, Global Crossing) o como en el caso de Arica en el que se tuvo que retirar el Sea Plow por una red de pesca atascada, se procede al PLFB en el cual se entierran estas áreas.

#### **2.2.11 Supervisión y telemantenimiento del sistema submarino**

El equipo de supervisión y telemantenimiento situado en el terminal, en asociación con la unidad supervisora del repetidor (o BU), permite normalmente la localización de averías, la supervisión del funcionamiento del repetidor y la conmutación de redundancia telecontrolada.

Las facilidades de supervisión incluyen normalmente una o más de las siguientes:

- Provisión, en servicio, de información suficiente como para permitir el mantenimiento preventivo, sobre todo si está prevista la redundancia conmutable;
- Provisión de la ulterior localización de averías, fuera de servicio, o supervisión del sistema a través de bucles telecontrolados desde los terminales apropiados;

- Indicación de un próximo fallo del equipo en servicio, de modo que pueda emprenderse o planificarse la acción preventiva;
- Medios de localización de averías persistentes y de averías intermitentes de una duración y frecuencia que hacen que el sistema incumpla los requisitos de calidad de funcionamiento.

En principio, el sistema supervisor permite la localización de averías hasta dentro de una sección de supervisión. Otros medios, tales como la reflectometría óptica y las mediciones eléctricas que utilizan equipos instalados en las estaciones terminales o a bordo del buque cablero, pueden aumentar la precisión de la localización de averías. La supervisión del sistema se verá facilitada mediante equipo informático situado en uno o ambos extremos.

#### **a) Los Loopbacks**

Con el objetivo de poder realizar pruebas desde el barco, en el extremo del cable que se coloca en la cámara de playa, se empalmaron las fibras dentro de una pieza de acero denominándose a este empalme Loopback y haciéndolo de la siguiente manera:

Blue –Yellow

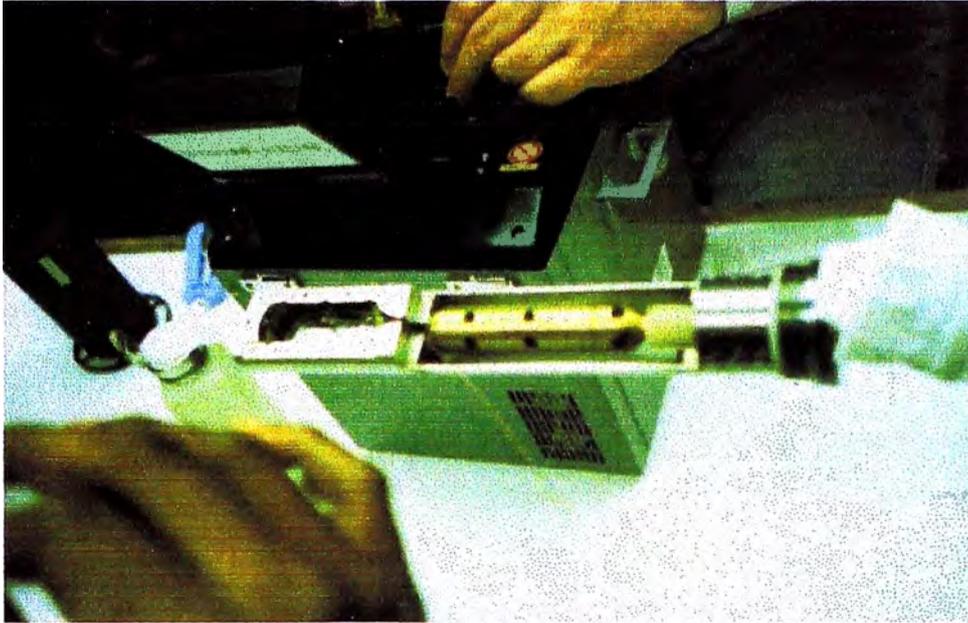
Brown – Red

Orange – Violet

Black – Green

Que en este caso es una fibra de transmisión con una fibra de recepción.

A seguir podremos apreciar una foto en la cual se ve la pieza de acero donde se colocan las fibras empalmadas y a fondo la máquina de empalmes (Sumitomo).

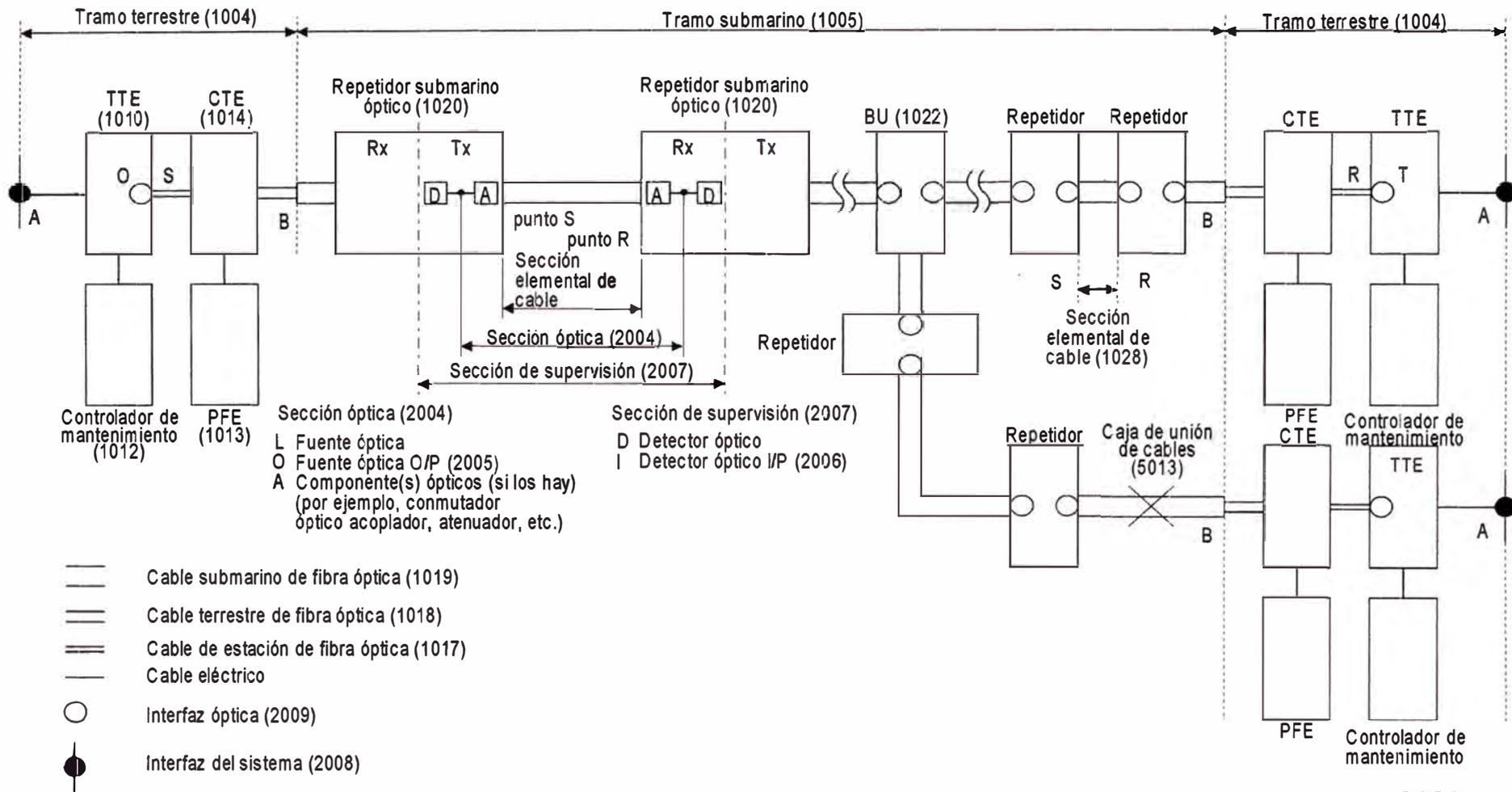


**Fig. 2.34. Pieza de acero donde se colocan los Loopbacks**

#### **b) Sala De Control De Cable**

Desde el CCR se tiene el control general y la coordinación de todos los trabajos que se vienen realizando en el barco verificándose eventos, parámetros de velocidad del cable y del barco, tensión y longitud del cable colocado y profundidad a la que se viene trabajando y enterrando el cable, en otras palabras todos los parámetros medidos en las otras áreas del barco.

El principal trabajo del CCR es cuando el cable comienza a ser depositado en el mar sin enterrarlo pues en este momento necesitan asegurarse de que el cable está siendo realmente colocado en el fondo marino. Para esto, se calcula la distancia recorrida y se verifica que se haya soltado suficiente cable, evitando cualquier tensión excesiva o algún lazo debido al hecho de haber soltado mucho cable. Este trabajo varía también de acuerdo al tipo de cable, pues por ejemplo cuando este es bastante grueso su propio peso se encargará de llevarlo hacia el fondo, evitando algunos cálculos.



T1507470-92/d01

**Fig. 2.35 Esquema Básico de un Sistema de Cable Submarino y sus Fronteras**

La finalidad de un sistema de cable submarino de fibra óptica es establecer enlaces de transmisión entre dos o más estaciones terminales. Cuando sólo se conecten dos estaciones terminales mediante el sistema de cable se hablará de enlace de cable submarino de fibra óptica. En otros casos habrá que referirse a una red de cables submarinos de fibra óptica.

La **figura 2.35** muestra el concepto básico de sistema de cable submarino de fibra óptica y las fronteras del mismo. Podrían incluirse repetidores submarinos ópticos y/o unidades de derivación submarinas ópticas, dependiendo de los requisitos de cada sistema.

En la **figura 2.35**, A representa las interfaces del sistema en la estación terminal (en donde el sistema puede interconectarse con enlaces digitales terrenales o con otros sistemas de cable submarino) y B representa uniones de playa o puntos de amarre. Las letras entre paréntesis de los puntos que siguen hacen referencia a la figura anterior.

Un sistema de cable submarino de fibra óptica consta de

- un tramo terrestre, entre la interfaz del sistema en la estación terminal (A) y la unión de playa o punto de amarre (B), que incluye el cable terrestre de fibra óptica, las uniones terrestres y el equipo terminal del sistema;

- un tramo submarino sobre el lecho del mar, entre las uniones de playa o puntos de amarre (B), que incluye el cable submarino de fibra óptica y, cuando se precisa, el equipo submarino, a saber, repetidor o repetidores submarinos ópticos, unidad(es) de derivación y caja(s) de unión.

El cable contiene uno o más pares de fibras ópticas (para establecer la transmisión en ambos sentidos se utiliza un par de fibras ópticas). El cable submarino de fibra óptica va protegido donde así se requiere. Hay diferentes tipos de cables caracterizados por su estructura mecánica: cables de peso ligero, cables protegidos de peso ligero, cables armados ligeros, cables de armadura simple, cables de armadura doble y cables de armadura de roca.

El cable terrestre de fibra óptica también requiere protección. El cable terrestre en particular lleva la corriente de alimentación del repetidor y en estas condiciones puede existir una elevada diferencia de potencial entre el conductor del cable y el suelo, por lo que es necesario proteger al personal.

Los repetidores submarinos ópticos constan de regeneradores diseñados para aceptar una señal óptica entrante comprendida dentro de determinados límites y para regenerarla de modo que la señal de salida óptica se halle dentro de ciertos límites. Los repetidores incluyen además unidades con las que proporcionar las funciones de supervisión,

protección y alimentación de energía. Estos circuitos constituyen la unidad optoelectrónica del repetidor y están contenidos dentro del alojamiento estanco al agua y resistente a la presión del repetidor.

Cuando es necesario interconectar más de dos secciones de cable se inserta una unidad de derivación (BU, *branching unit*) submarina óptica, en el tramo submarino de una red de cables submarinos de fibra óptica. Según los requisitos de la red, este equipo puede incluir algunos o la totalidad de los submontajes siguientes:

conexión de fibra directa;

unidad de conmutación de fibras;

regeneradores ópticos para cada fibra; y

unidad de conmutación del trayecto de alimentación de energía.

Además, la BU puede facilitar el intercambio de señales entre trayectos de señal óptica, en cuyo caso se le denomina multiplexor de derivación submarina (UBM, *undersea branching multiplexer*).

### **2.2.12 Configuración de la alimentación de energía**

#### **a) Consideraciones generales**

La configuración de la alimentación de energía caracteriza al flujo de corriente de alimentación entre las estaciones terminales, a través del sistema de cables submarinos de fibra óptica.

#### **b) Enlace de cables submarinos de fibra óptica**

En un enlace de cables submarinos de fibra óptica, la corriente fluye de un equipo de alimentación de energía (PFE, *power feeding equipment*) al PFE opuesto, a lo largo del conductor de potencia del cable submarino de fibra óptica, estableciéndose el trayecto de retorno a través del mar, por conducto de las puestas a tierra de la alimentación de energía efectuadas a ambos extremos.

#### **c) Red de cables submarinos de fibra óptica**

En una red de cables submarinos de fibra óptica se establece un trayecto de alimentación de energía de red, de manera similar, entre dos estaciones de alimentación de red, a través de los conductores de alimentación de las secciones de cables de fibra óptica conectados en serie. Las derivaciones que no forman parte del trayecto de alimentación de red se alimentan, cuando hace falta, a través del conductor de potencia del cable

óptico submarino, entre el PFE de sus estaciones terminales y la unidad de derivación, estableciéndose el trayecto de retorno a través del mar, por conducto de una puesta a tierra de la alimentación de energía en la estación terminal y un electrodo marino de la unidad de derivación. La conmutación del trayecto de alimentación en la BU permite cambiar esta configuración, sobre todo en condiciones de avería.

Para evitar la corrosión, el sentido de la corriente de alimentación de energía es tal que el electrodo marino de la unidad de derivación permanece catódico. El mantenimiento de esta condición quizá requiera, en algunas configuraciones de redes de cables de fibra óptica submarinos, cambiar el sentido de la corriente de alimentación de energía, cuando se cambie la configuración de alimentación. Se hace necesario entonces utilizar repetidores «bipolares», que pueden alimentarse en ambos sentidos.

#### **d) Protección mutua de los PFE**

En algunas situaciones, el PFE instalado en uno de los extremos de un enlace proporciona, en situación de emergencia, la totalidad de la potencia necesaria para un determinado enlace, mientras que en condiciones de funcionamiento normal el suministro de la potencia total se comparte entre los equipos de alimentación de energía instalados a ambos extremos del enlace.

Esta facilidad se utiliza en caso de avería de un PFE, para aumentar la disponibilidad del sistema. También se utiliza en caso de avería por derivación de un cable, para mantener el tráfico y/o ayudar a localizar la avería.

#### **e) Integración del sistema**

Un enlace o red de cables de fibra óptica submarinos puede establecerse utilizando dos o más sistemas de fibra óptica submarina (es decir, conjuntos de equipo: cable, repetidor, equipo terminal, BU, etc.) diseñados independientemente por distintos suministradores.

Para integrar la red de fibra óptica submarina es necesario asegurar la compatibilidad de esos diseños. Ese es el objetivo de la especificación de la integración.

### **2.2.13 Características de la señal de línea**

#### **a) Estructura de la señal de línea**

La trama de la línea y la velocidad binaria de la línea resultan de las operaciones de multiplexión y codificación efectuadas por el equipo de transmisión terminal (TTE,

*terminal transmission equipment*), teniendo en cuenta la inclusión de los canales de servicio y supervisión.

El código de línea se elige en concordancia con las características del tramo submarino. Puede utilizarse a efectos tales como los de adaptación del espectro de frecuencias de la señal de línea óptica en la interfaz óptica y supervisión de la tasa de errores en los bits de la línea en los repetidores o en el terminal de transmisión-recepción. Las violaciones del código de línea pueden utilizarse a efectos de supervisión (control del sistema y/o transmisión de la información de supervisión).

### **b) Tasa de errores en la línea**

La calidad de funcionamiento del tramo submarino de los sistemas equipados con regeneradores se mide adecuadamente en términos de tasa de errores en la línea, que es la tasa de errores en un punto determinado del sistema de cable submarino de fibra óptica.

Los valores numéricos de la tasa de errores en la línea se expresan en la forma  $n \times 10^{-p}$  donde  $p$  es un entero.

El tramo submarino se caracteriza, en la práctica, mediante la tasa aparente de errores en la línea, que es el valor calculado a partir de la cuenta de errores en la línea proporcionada por el equipo supervisor de los repetidores. Por lo general, el equipo supervisor detecta violaciones del código de línea. La tasa aparente de errores en la línea se calcula directamente a partir del resultado de esta observación. Puede obtenerse un valor más exacto, la tasa efectiva de errores en la línea, eliminando del cálculo las violaciones deliberadas del código de línea.

## **2.2.14 Funcionamiento del sistema**

### **a) Comunicación de terminal a terminal**

Generalmente se establecen dos canales de servicio, por lo menos, entre dos estaciones terminales: uno a través del sistema de cable submarino de fibra óptica para el funcionamiento y el mantenimiento del sistema y otro por medios externos, para mantener la comunicación entre las dos estaciones terminales en caso de avería del sistema.

En particular, se prevé normalmente un canal de servicio que permita la transmisión de mensajes de terminal a terminal entre los equipos supervisores de estaciones terminales correspondientes y con el que informar sobre el estado del sistema y de las secciones de

línea digital y sobre la actividad supervisora en curso, ayudando así al control global del sistema y a la supervisión o localización de averías.

Entre estaciones terminales que intercambian tráfico, se establece por lo menos un canal de servicio para la comunicación entre el personal de las estaciones terminales.

### **2.2.15 Función y características del equipo de alimentación de energía (PFE, power feeding equipment)**

#### **a) Condición de funcionamiento normal del PFE**

El PFE suministra, a través del conductor de potencia del cable con retorno por el mar, una corriente eléctrica estabilizada con la que alimentar los circuitos eléctricos del repetidor o los repetidores submarinos ópticos y/o de la unidad o unidades de derivación submarinas ópticas. Esta corriente es ajustable por lo general y disminuye ligeramente en función de la carga resistiva del PFE.

Las variaciones en el tiempo de la corriente del PFE, que pueden deberse a cambios de la temperatura ambiente dentro de una gama especificada, variaciones y fenómenos transitorios de la tensión de la fuente de potencia, o conmutación de redundancia en el PFE, se mantienen entre límites específicos. La estabilidad de la corriente del PFE se define de modo que se satisfaga el requisito de estabilidad global del sistema de cable submarino de fibra óptica. Normalmente, la estabilidad de la corriente del PFE se expresa como un porcentaje de la corriente nominal del PFE.

La tensión de salida del PFE se ajusta automáticamente, para mantener la corriente del PFE constante en presencia de tensiones inducidas de manera natural. Se considera normalmente que estas tensiones inducidas de manera natural, que se acumulan a lo largo de un enlace, pueden alcanzar un valor de 0,3 V/km (este-oeste) y que varían lentamente con el tiempo (menos de 10 V/s).

#### **b) Protección del sistema**

El PFE está equipado normalmente con dispositivos diseñados para proteger al propio PFE y al tramo submarino frente a corrientes o tensiones excesivas, en caso de avería eléctrica en el PFE o en cualquier otro punto del sistema.

En particular, se proporciona una protección de puesta a tierra de los PFE para encaminar automáticamente la corriente de alimentación a la puesta a tierra de la estación, si el electrodo de alimentación del sistema llegara a desconectarse o variara a un potencial excesivo con respecto a la puesta a tierra de la estación. El funcionamiento de este dispositivo está concebido de manera que se evite la interrupción del sistema de

cable submarino de fibra óptica y se prevenga una elevación del potencial de tierra del equipo de potencia suficiente como para dañar el equipo o poner en peligro al personal.

### **c) Protección del personal del PFE**

La protección del personal del PFE se proporciona para evitar que las personas puedan tener acceso a tensiones peligrosas, generadas en el extremo cercano o en el extremo distante del sistema de cable submarino de fibra óptica. El dispositivo de protección incluye, en particular, enclavamientos en el equipo de terminación del cable, paradas de emergencia en el PFE y equipos de puesta a tierra que permiten la descarga a tierra del conductor de potencia del cable antes de manipularlo.

## **2.2.16 Mantenimiento del Sistema de Cable Submarino**

### **a) Mantenimiento de rutina**

El mantenimiento de rutina se efectúa desde las estaciones terminales utilizando el sistema supervisor. Consiste en supervisiones periódicas de los parámetros del sistema y, cuando hace falta, en la conmutación de redundancia preventiva.

### **b) Mantenimiento en el mar**

Los sistemas de cable submarino de fibra óptica pueden sufrir averías debido, en particular, a agresiones externas y al fallo de componentes. Es importante definir y desarrollar procedimientos y equipos de reparaciones bien establecidos y eficientes, para facilitar las reparaciones y limitar la pérdida de tráfico.

El mantenimiento en el mar se efectúa normalmente utilizando buques cableros de reparación especializados.

### **c) Localización de averías**

En los sistemas equipados con repetidores submarinos ópticos, se obtiene una primera localización hasta dentro de una sección de supervisión utilizando el sistema supervisor.

En las secciones de cable de los extremos, puede conseguirse la localización de averías del cable desde las estaciones terminales, efectuando mediciones eléctricas adecuadas (de resistencia, de capacidad, de aislamiento, etc.) y utilizando la reflectometría óptica.

La localización de averías del cable puede efectuarse, de manera similar, desde el buque cablero después de extraer el cable, utilizando los mismos procedimientos.

Para localizar la ruta del cable pueden emplearse electrodos.

#### **d) Recuperación del cable**

Durante la recuperación del cable quizá sea necesario cortarlo en el fondo del mar, para limitar la tensión mecánica aplicada al mismo, antes de extraer ambos extremos separadamente.

#### **e) Reparaciones en el mar**

Para efectuar reparaciones en el mar pueden seguirse diferentes métodos, según la profundidad del mar:

una reparación en aguas poco profundas quizá requiera la adición de un largo de cable, pero no de un repetidor; en el balance de potencia óptica de aguas poco profundas se incluye, por lo general, un margen de reparaciones, ya que las secciones de aguas poco profundas son las más expuestas a la agresión externa;

una reparación en aguas profundas requiere normalmente que se añada un largo de cable y un repetidor para compensar la atenuación adicional, si ésta supera el margen disponible; por lo general, no se incluye margen de reparaciones en el balance de potencia óptica de aguas profundas ya que este tipo de reparaciones es poco frecuente.

Cuando se detecte una avería hasta dentro de una sección supervisora, la sección podrá ser sustituida por un minisistema, sin ulterior localización. Este método puede ahorrar tiempo pero requiere más equipos de repuesto.

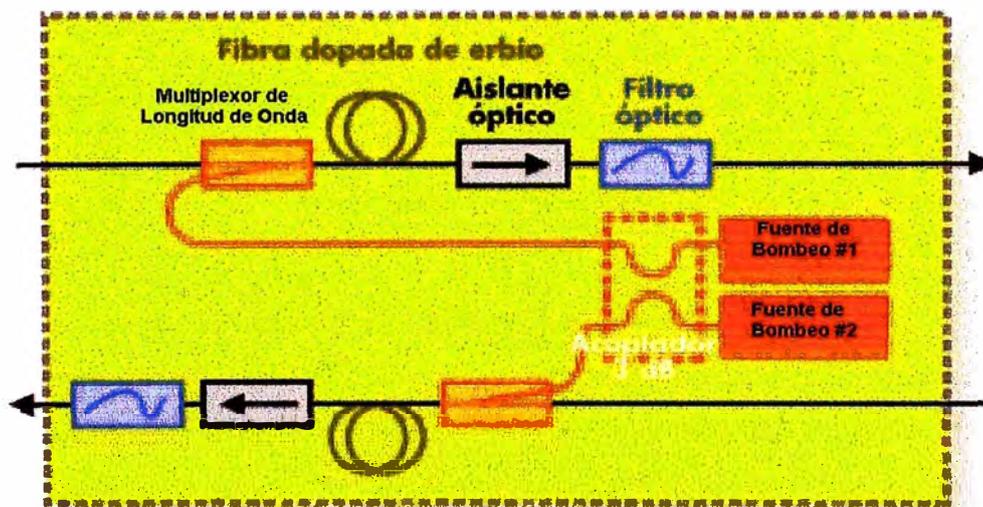
Los procedimientos de reparación con seguridad se aplican a bordo del buque cablero y en la estación terminal, para garantizar la seguridad del personal que trabaja a bordo del buque cablero. En particular, los procedimientos seguros en relación con la potencia requieren la puesta a tierra del cable en la estación terminal, a bordo del buque cablero y en la unidad de derivación.

### ***2.2.17 Nuevas Tecnologías en la Transmisión Submarina***

Los nuevos equipos terminales de línea se benefician de las tecnologías avanzadas desarrolladas para los requerimientos de la transmisión submarina y presenta funcionalidades mejoradas, como capacidad de actualización plug and play y autoajuste

de los transpondedores para mantener la transmisión en unas prestaciones óptimas. Además incluyen funcionalidades específicas submarinas para mejorar la fiabilidad del sistema: un esquema redundante de bombeo para EDFA, y una protección del equipo 31 a 1. También incluye un canal de supervisión para monitorizar la planta sumergida. Los nuevos repetidores sumergidos utilizan EDFAs con bombeo a 980 nm, ofreciendo bajo ruido, alta potencia y gran ancho de banda: hasta 34 nm de ancho de banda con un perfil ultraplano en la ganancia (mejor de 0,2 dB por amplificador).

Dependiendo de la longitud del sistema y de la capacidad, el margen de amplificadores va de 10 a 22 dB, que corresponde a vanos entre amplificadores de 50 a 110 km. El estándar en la industria para la fiabilidad de la planta sumergida establece una reparación de buque como máximo en la vida de 25 años para un sistema transoceánico. Para cumplir este requerimiento tan exigente, se requieren componentes de alta fiabilidad y una arquitectura "auto reparable". En amplificadores ópticos sumergidos, la potencia del bombeo se comparte por un par de amplificadores, por lo que el fallo en el bombeo de un diodo láser deja al par de amplificadores operacional (**Figura 2.36**).



**Fig. 2.36 – Esquema óptico de un par amplificador repetidor submarino**

#### **a) Sistemas Submarinos con repetidores y la unidad de derivación**

- **Consideraciones generales**

Los repetidores y las unidades de derivación submarinos ópticos pueden trabajar de conformidad con las recomendaciones de calidad de funcionamiento del sistema, durante la vida nominal del sistema y en las condiciones ambientales de la profundidad del mar (temperatura, presión, etc.).

Estos dispositivos se diseñan de modo que puedan ser manipulados, es decir, tendidos, recuperados y tendidos de nuevo, sin degradación de la calidad de funcionamiento del cable, de las cajas de unión de cables, de los repetidores, de las unidades de derivación y de las terminaciones de cables, siempre que se respeten las especificaciones relativas a su manipulación.

Su diseño permite además su transporte y almacenaje en condiciones de temperatura especificada, sin afectar a la duración de la vida nominal del sistema, siempre que se respeten las especificaciones relativas al almacenamiento y transporte.

Los repetidores y las unidades de derivación submarinos ópticos pueden funcionar a bordo de un buque cablero durante las operaciones de tendido y reparación, sin afectar a la duración de la vida nominal del sistema.

El tamaño de los repetidores submarinos ópticos permite su manejo mediante un equipo apropiado de buque cablero.

La interfaz de entrada óptica del repetidor (punto R) de cada fibra entrante se define donde la fibra del repetidor se empalma con la fibra del cable.

La interfaz de salida óptica del repetidor (punto S) de cada fibra saliente se define donde la fibra del repetidor se empalma con la fibra del cable.

- **Constituyentes del repetidor (o BU)**

Los principales constituyentes del repetidor (o BU) son:

*El alojamiento del repetidor (o BU)*

Parte mecánica que contiene la unidad optoelectrónica. El alojamiento está diseñado de manera que proporcione resistencia a la presión en el fondo del mar, estanqueidad al agua, gran solidez mecánica, conexión eléctrica y óptica a las secciones de cable de cada lado del repetidor (o BU), aislamiento a las altas tensiones y una baja impedancia térmica entre la unidad optoelectrónica del repetidor (o BU) y el mar.

*La unidad optoelectrónica del repetidor (o BU)*

Componente electrónico, constituido por el(los) regenerador(es) optoelectrónico(s), y/o el(los) circuito(s) supervisor(es), y/o la alimentación de energía y el(los) circuito(s) de protección, y/o el(los) intercambiador(es) de datos, y/o el(los) conmutador(es) de redundancia

- **Diseño del sistema en aplicaciones con repetidores**

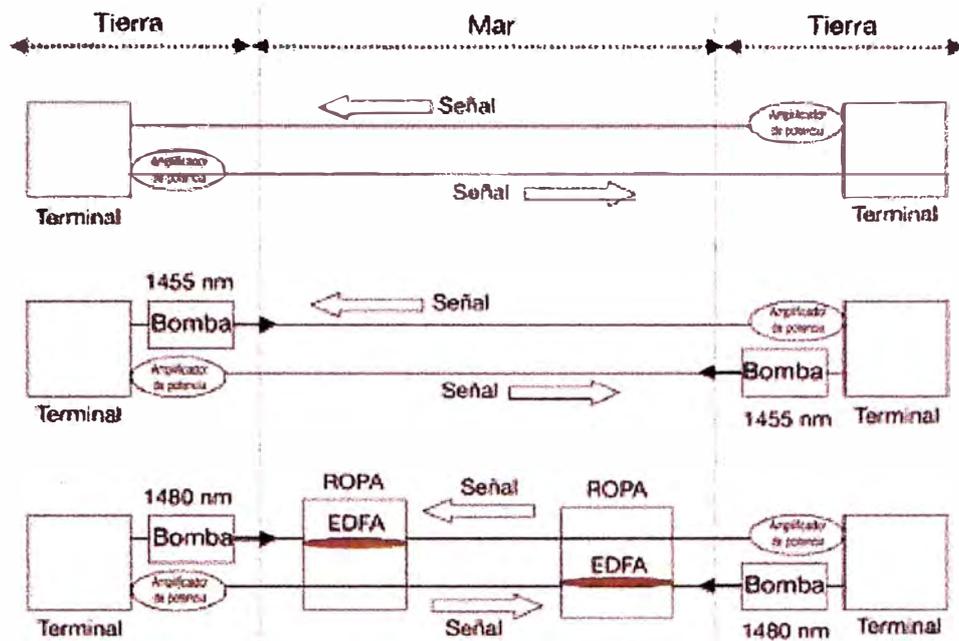
Antes de cualquier instalación submarina, cada innovación técnica está sometida a intensas pruebas de laboratorio. Para este propósito, es importante contar con una plataforma de transmisión submarina de simulación para la transmisión transoceánica, utilizando un sistema de prueba de 6000 km en línea recta compuesto de 100 EDFAs de banda C, cada uno de los cuales con un vano de fibra con dispersión desplazada no nula (NZDSF) de 60 km. Este sistema de prueba está compuesto por componentes clave representativos de productos reales, para validar las especificaciones de los parámetros de los equipos y el diseño completo de los sistemas submarinos.

Estos sistemas de prueba experimental también se utilizan para demostrar a los posibles clientes las prestaciones de transmisión de sus futuros sistemas cuando estén instalados a su capacidad total.

Aprovechando este sistema experimental, se realizó una prueba de transmisión de 40 recorridos a 42,7 Gbit/s con un espaciado de 100 GHz (0,8 nm), utilizando un formato de modulación por desplazamiento de fase diferencial (DPSK) avanzado a lo largo de 4.800 km, mostrando el potencial de estos formatos de modulación para la actualización de los sistemas NZDSF regionales ya instalados.

## **b) Sistemas submarinos sin repetidor: desafíos y tecnologías futuras**

En esta sección proporcionaremos una introducción a los sistemas sin repetidor, dividida en tres partes. Primero describiremos las aplicaciones principales de estos sistemas, así como algunas de sus analogías con los sistemas terrestres. A continuación analizaremos los sistemas de más reciente tecnología, examinando además, por separado, algunos de los desafíos científicos concernientes. Finalmente, estudiaremos algunas de las futuras y potenciales tecnologías y tendencias para que el lector comprenda lo que el futuro nos puede deparar en el campo de las actividades sin repetidor.



**Figura 2.37. Sistema submarino sin Repetidor**

- **Principales características y aplicaciones de los sistemas sin repetidor.**

Las redes submarinas sin repetidor podrán ser utilizadas en varias aplicaciones diferentes:

- en la orilla costera,
- en los anillos de las islas
- para cerrar un anillo transoceánico o como parte complementaria del mismo,
- para cruzar secciones submarinas en redes terrestres.

La aplicación más importante claramente está relacionada con la conexión entre ciudades costeras; esta aplicación podría lograrse alternativamente, claro, por medio del uso de una red terrestre. Por definición, los sistemas sin repetidor no precisan de repetidores y por tanto no necesitan ni equipo alimentador de energía ni componentes activos sumergidos.

El advenimiento de los láseres de alta potencia y de la amplificación óptica ha permitido, en los dos últimos años, que los sistemas sin repetidor tengan un rápido progreso técnico. Ahora, estos sistemas pueden equiparse comercialmente con la tecnología WDM, y la velocidad por canal alcanza normalmente los 2,5 Gbit/s o los 10 Gbit/s. Es más, la gran cantidad de fibras (de hasta 192 y más), conjuntamente con DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), consiguen unas capacidades de transmisión muy

elevadas.

Para satisfacer los requisitos específicos de los clientes y sus condicionantes económicos, hay que alcanzar un compromiso entre número de fibras, número de longitudes de onda, la velocidad de la línea y el coste de la infraestructura de la red.

Las razones que nos impulsan a elegir sistemas sin repetidor en vez de sistemas terrestres son básicamente dos: su fiabilidad y su reducido coste. Por una parte, usar un único cable de gran capacidad corremos un riesgo importante si se avería el cable o si sufre cualquier daño, pero las rutas submarinas están amenazadas por tipos de fallos o problemas distintos a los de las redes terrestres. En términos generales y sin tener en cuenta la causalidad, las estadísticas mundiales sobre averías de cable terrestre nos indican que el índice es de 0,00062 averías/Km/año<sup>1</sup>, mientras que la tasa de averías de cables submarinos es 0,00001 averías/Km/año<sup>2</sup>.

También hay mucho que ganar aumentando la capacidad de los anillos sin repetidor ya instalados.

- **Los desafíos tecnológicos de los sistemas sin repetidor.**

La mayor parte de los sistemas terrestres cuenta con tramos de amplificación de unos 100 Km. y pérdidas de tramo de unos 25 dB, mientras que el típico sistema submarino contará a menudo con longitudes del enlace superiores a los 300 Km. y pérdidas por tramo de 60 dB. Así, el reto principal es alcanzar un número alto de canales en un tramo largo. Es imprescindible contar con una elevada potencia óptica para compensar las pérdidas en la fibra óptica. Pero la alta potencia óptica tiene también unos efectos no lineales que perjudican el rendimiento de la transmisión. Algunos ejemplos de estos efectos no-lineales son la modulación de auto-fase, la modulación de etapa cruzada, la mezcla de cuatro ondas y la dispersión de Brillouin estimulada.

Sabemos que la potencia bruta por sí sola no es suficiente, es decir, que el intentar usar numerosos fotones en un sistema de detección directa no valdrá por sí solo. Al contrario, será imprescindible lograr un delicado y difícil equilibrio entre los siguientes elementos:

Cantidad de canales, velocidad de la línea, el espaciado de canal y el formato de modulación,

El margen del sistema y plan de ampliación de la capacidad,

La potencia óptica total y la potencia óptica por canal,

Las pérdidas en la fibra y el área efectiva de la fibra

Cantidad de fibras.

Ahora bien, de lo que se trata es de gestionar hábilmente las elevadas potencias ópticas de distintas maneras y en distintos lugares a lo largo de todo el sistema. Será por ejemplo gracias a un amplificador de gran potencia en el terminal transmisor, de una gran potencia de bombeo para crear ganancia de Raman en la fibra de la línea correspondiente al terminal receptor y de amplificación de bombeo remoto en el extremo receptor. También será de gran ayuda el contar con un código de corrección de errores (FEC) efectivo en el terminal.

Todo lo comentado en las líneas anteriores está disponible hoy día y puede ser puesto en marcha como indicamos en el gráfico.

En cada nivel del esquema, la ganancia crece en unos 7 dB, que a su vez representa un incremento de unos 35 a 40 Km. de alcance. Normalmente, las fibras que se utilizan para sistemas sin repetidor tienen un área efectiva de unas 70 micras cuadradas, de manera que se logra la transmisión de aproximadamente unos 18 dBm por canal. La dispersión cromática es de aproximadamente 20 ps/nm.Km, asegurando así que distintos canales se desplazan a diferentes velocidades a lo largo de la fibra sin inter-actuar excesivamente los unos con los otros (modulación de fase cruzada baja y mezcla de cuatro ondas baja). En cuanto a las pérdidas en la fibra, la corriente suele perder 0,200 dB/Km., mientras que la fibra de primera calidad no suele perder más de 0,180 dB/Km.

El amplificador de potencia está basado en tecnología EDFA y garantiza una potencia de lanzamiento de hasta unos 30 dBm en la banda del rojo ( - 1540 – 1565 nm). La potencia está limitada por los efectos de la no-linealidad de la fibra.

Las fuentes de bomba pueden operar a 1450 nm para dar lugar a ganancia Raman en la fibra; o pueden operar a 1480 nm para bombear a distancia el bucle EDFA colocado bajo el agua en el ROPA. Estas bombas también pueden ser extraordinariamente potentes (más de 1 watio), y de nuevo los límites están fijados por los efectos de la no-linealidad de la fibra. El ROPA es un revestimiento sencillo con aisladores y bucles EDFA encapsulados. Al ser totalmente pasivos estos componentes, son también totalmente fiables.

En cuanto a los terminales, el efecto SBS (“Stimulated Brillouin Scattering” o dispersión de Brillouin estimulada) se suprime incorporando una modulación de baja frecuencia a los láseres de transmisión. El formato de modulación más frecuentemente utilizado es el NRZ, mientras que el espaciado de canal suele ser de 50 GHz o 100 GHz, logrando así un bloque de 40 canales en la banda del rojo. Merece la pena señalar que aún cuando es cierto que estrechándose el espaciado de los canales se obtendría un mayor número de canales en esta misma banda de frecuencias, los efectos no-lineales irían a más, ya que los canales estarían mucho más cercanos los unos de los otros.

Para hacernos una idea mejor del actual grado de desarrollo tecnológico, pensemos que la mayoría de los sistemas comerciales sin repetidor  $N \times 2,5$  Gbit/s o  $N \times 10$  Gbit/s ahora pueden ser montados para abastecer entre 300 Km. y 400 Km., siendo el valor de N de entre 1 y 32.

Todo esto no impide, claro, que se den otras mejoras en los terminales para permitir en el futuro la transmisión de más canales usando la misma infraestructura. Para concluir esta segunda parte relativa al cable, debemos apuntar que el número de fibras, en el 97% en los sistemas comerciales actuales, está en 24 fp, no obstante el hecho de que ya existen cables 96 fp en el mercado.

- **Tecnologías futuras**

Se espera que las tecnologías futuras se desarrollen tanto con el objetivo de hacer frente a mayores potencias ópticas cada vez, como para detectar niveles de potencia más bajos, manteniendo las calidades en el rendimiento de la transmisión (BER del sistema menor que  $10^{-12}$ ).

Comencemos con la fibra: ahora están a nuestra disposición en el mercado fibras de 110 micras cuadradas, y dentro de unos 18 meses dispondremos de fibras de 150 micras cuadradas. Hay incluso quien habla de fibra de 180 micras cuadradas. Este incremento del área reducirá el efecto no-lineal en proporción directa a dicho incremento. La mejora resultante debería de ser de unos 110/70, es decir casi 1,6 dB y el trabajo en el laboratorio nos indica que se puede esperar una mejoría de 1,5 dB en potencia por canal. Los requisitos de dispersión cromática no variarán, permaneciendo en unos 20 ps/nm.Km.

Las pérdidas en la fibra también son susceptibles de ser mejoradas si se utiliza materia no adulterada para el núcleo de la fibra, como por ejemplo fibra Pure Silica Core (núcleo de sílice puro). Un objetivo perfectamente razonable sería, por ejemplo, el de una pérdida de 0,150 dB/Km. Aún cuando en términos técnicos esta es una aspiración factible, lo cierto es que es posible que los costes de producción sean exorbitantes de momento. Aún así, la exigencia del mercado hacia fibras de pocas pérdidas no disminuirá en el corto plazo.

En cuanto al ancho de banda, el paso siguiente sería el de utilizar la banda C en su totalidad ( $\sim 1530 - 1565$  nm) para incrementar el número de canales. Así lograríamos un conjunto de 80 canales con el espaciado actual de 50 GHz de canal. Pero también serían necesarios tanto un amplificador de potencia nuevo como una fuente de bombeo nueva para operar en esta banda extendida, con la dificultad añadida de mantener una ganancia

plana en toda la banda. En concreto, la amplificación Raman del extremo de recepción necesitará un bombeo de múltiples longitudes de onda (fuentes de bombeo con una mezcla de bombeo de 1425 nm y 1450 nm) para lograr una transmisión de espectro plana en toda la banda C. Los niveles de potencia serán previsiblemente de más de 1,5 vatios tanto en el extremo de transmisión como en el de recepción.

En lo referente a la electrónica del terminal, las técnicas de FEC también obtendrán unos resultados mejores al avanzar hacia S-FEC, (o Super FEC). Así se logra una mejora de 2 dB en relación con el actual FEC basado en Reed-Solomon. Podría compararse con una mejoría artificial de la sensibilidad del receptor por 2 dBm o con un incremento de potencia por canal de 2 dBm.

Se están desarrollando ahora mismo un conjunto de interesantes estudios, tanto teóricos como de laboratorio, para desarrollar nuevos balances ópticos que nos permitan aunar todos estas apasionantes nuevas etapas tecnológicas.

- **Diseño del sistema en aplicaciones sin repetidores**

Para distancias de transmisión de hasta unos pocos cientos de kilómetros, los repetidores ópticos en la línea pueden evitarse, llegando a una solución económicamente interesante. Sin embargo, para alcanzar mayores distancias o capacidades, los sistemas sin repetidores requieren amplificadores (boosters) ópticos de alta potencia y bombeo, permitiendo la transmisión de señales de alta potencia y altas sensibilidades de los receptores. Además, la fibra de línea utilizada en la línea es muy importante, ya que sus características de atenuación y su área efectiva determinan la máxima distancia de transmisión. El rendimiento de un sistema sin repetidores está normalmente limitado por efectos no lineales y el ruido del amplificador, lo que explica por qué se utilizan las tecnologías más modernas.

Alcatel ha liderado el desarrollo de este sector en los últimos 10 años, anunciando experimentos que rompen barreras, y demostrando la posibilidad de transmitir muy altas capacidades a muy largas distancias sin la necesidad de repetidores.

Entre estos records, la primera transmisión a 1 Tbit/s sin repetidores se probó en 2003, utilizando 32 canales a 43 Gbit/s y tecnologías de amplificación avanzadas.

### ***2.2.18 Aplicaciones del Sistema de Cable Submarino***

El primer sistema completamente óptico, el TAT 12/13, fue tendido en el Océano del Atlántico Norte entre 1995 y 1996. Cada fibra llevaba un único canal de 5 Gbit/s, y se

consideraba que esta capacidad era tan enorme que los dos cables se desplegaron con una configuración en anillo, permitiendo una restauración automática del tráfico en el caso de un corte de cable.

Sólo unos pocos años después, la utilización de DWDM y de EDFAs de banda ancha hizo posible aumentar la capacidad por cada fibra hasta un Tbit/s. En 2002, Alcatel Submarine Networks instaló el cable i2iCN, compuesto por 8 pares de fibras, que enlaza Singapur con la India. Diseñado para transportar hasta 8,4 Tbit/s utilizando tecnología DWDM de 10 Gbit/s, es el sistema de mayor capacidad que opera actualmente en el mundo.

Además de este importante aumento en la capacidad de transporte (x1000) en los últimos diez años, se han instalado un total de aproximadamente 180.000 km de sistemas ópticos amplificados a través de los océanos. En las rutas transoceánicas, la infraestructura de cable submarino instalado está actualmente equipada para explotar el 25% de la capacidad máxima para lo que han sido diseñados.

En el futuro, el desafío para de la industria submarina está en continuar aumentando la capacidad de los sistemas instalados en un entorno muy competitivo, mientras mantienen su capacidad de diseñar, fabricar e instalar los sistemas más novedosos en un mercado global en reducción.

#### **a) Proyectos actuales**

- **Sea-Me-We 4**

En marzo de 2004, el consorcio Sea-Me-We 4 seleccionó a Alcatel, con su subcontratista Fujitsu, para construir un sistema de cable de última generación para transmisión a nivel de Tbit/s para conectar el sudeste de Asia con Oriente medio y Europa occidental. Este sistema de cable enlazará 14 países desde Singapur a Francia, por Malasia, Tailandia, Bangladesh, Sri Lanka, India, Pakistán, Emiratos Árabes Unidos, Arabia Saudita, Egipto, Túnez, Argelia e Italia, con 16 estaciones de llegada a tierra (**Figura 2.38**).

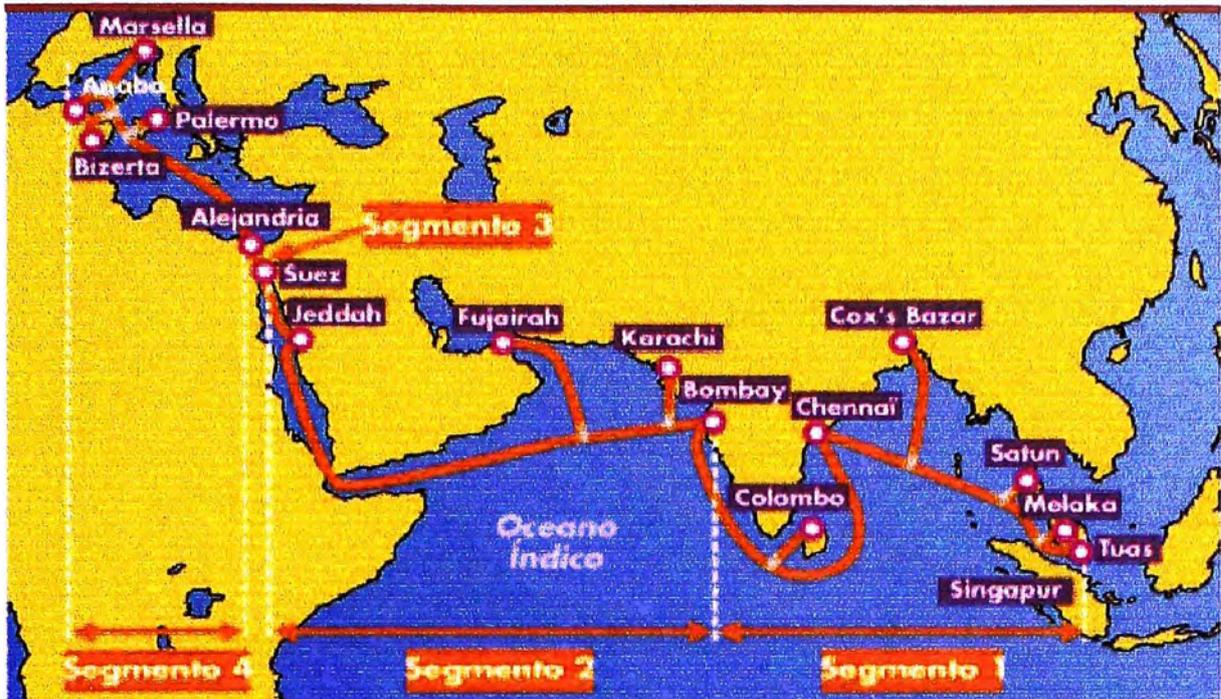


Fig. 2.38. Mapa de la Red de Cable Sea-Me-We 4

El cable está formado por dos pares de fibra, y cada uno transmite 68 canales de 10 Gbit/s con un espaciado entre canales de 50 GHz. Alcatel suministrará 2 de los 3 tramos submarinos, así como el tramo terrestre que cruza Egipto. Se están utilizando equipos Alcatel 1626 LM y 1620 LM para los segmentos terrestre y submarino, respectivamente, consiguiendo una longitud de vano submarino sin precedentes para tal capacidad de transmisión.

Se trata de un proyecto llave en mano, que abarca todas las operaciones, desde el replanteo marino, diseño, fabricación, instalación terrestre y marina hasta la puesta en marcha. Esta última incluye las pruebas de los equipos y las medidas de las características y prestaciones del sistema, para asegurar que opera correctamente y con suficiente margen de garantía para un ciclo de vida de 25 años.

- **Falcon**

Después de la instalación con éxito de FLAG Atlantic-1 y de FLAG North Asia Loop, FLAG Telecom adjudicó el contrato de red de cable Falcon a Alcatel en febrero de 2005. La red de cable está basada en tramos con y sin repetidores a lo largo de 10.000 km. La red de cable Falcon instalará numerosas estaciones de llegada a tierra en la región del Golfo, y conectará con India y Egipto (Figura 2.39). Se utilizarán ampliamente unidades de ramificaciones submarinas para conectar a otros países a lo largo del recorrido del cable Falcon.

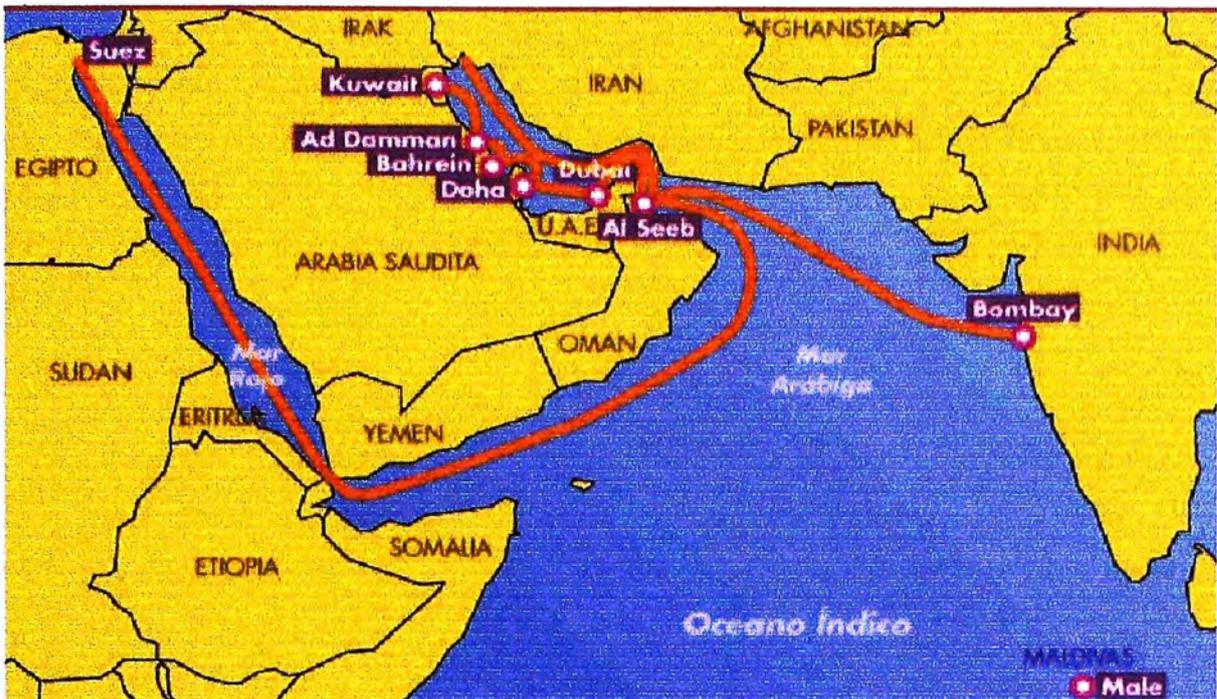


Fig. 2.39. Mapa del sistema de Cable submarino Falcon

- **Glo-1**

Alcatel instalará un cable submarino para Globalcom, que proporcionará conexión directa de Nigeria con el Reino Unido (Figura 2.40). De 8.600 km de longitud, el sistema submarino Glo-1 será uno de los cables directos WDM de 10 Gbit/s más largos jamás instalados.



Fig. 2.40. Mapa del sistema submarino Glo 1

- **Global Caribbean Network**

GCN, prevista para terminarse a finales de 2005, es una red sin repetidores, múltiple, en varios tramos con un total de 120 Gbit/s de capacidad final de red. El cable submarino cubre casi 800 km en total, conectando Basse-Terre y Point-à-Pitre en Guadalupe con San Juan en Porto (Figura 2.41). La ruta del cable pasará por San Martín con una extensión a St Barthélémy.



**Fig. 2.41** Mapa de la Red Global Caribbean

### **2.2.19 Hacia una conectividad global de longitud de onda**

Existen actualmente dos tendencias en paralelo en el transporte de datos en redes de larga distancia.

En primer lugar, los operadores que ya tienen arquitecturas de datos optimizadas quieren continuar mejorando sus núcleos de red IP desplegando mayor capacidad en sus infraestructuras WDM. Estos operadores tienen dos problemas principales: gestionar la conectividad entre los routers de conmutación de etiquetas (LSR) con un mínimo esfuerzo operacional, y desplegar arquitecturas de núcleo IP que limiten/reduzcan el costoso tránsito en la capa IP.

En segundo lugar, los operadores con tráfico heredado de circuitos y paquetes mezclados deben evolucionar desde infraestructuras paralelas SDH e IP/Ethernet. Por

ellos, es esencial la migración hacia una capa de transporte de alta capacidad convergente para reducir el OPEX.

Para responder a estos problemas, existen dos tecnologías complementarias:

- La jerarquía de transporte óptico permite bypass la capa IP en gran medida (reduciendo el CAPEX), y gestiona la completa conectividad entre LSRs (reduciendo el OPEX). Utilizando canales desde 2,5 Gbit/s (Optical Data Unit, ODU1) hasta 40 Gbit/s (ODU3), aprovecha las ventajas de la eficiencia de la puesta a punto de circuitos y datos G.709 de los terminales OTH (jerarquía de transporte óptico) y de los transconectores. G709 permite un aprovechamiento óptimo de los recursos de transporte, reduciendo, por lo tanto, el coste por bit transportado.
- Con el nuevo DWDM flexible, la actualización de la conectividad entre LSRs puede gestionarse a nivel de longitud de onda con el soporte de ROADMs, cuando no se necesita acondicionamiento ODU sub-lambda. Esto contribuye aún más a reducir el CAPEX de la regeneración optoelectrónica, con nodos fotónicos flexibles que reducen el OPEX.

Estas facilidades responden a las demandas actuales de los operadores de tecnologías que faciliten la clara tendencia evolutiva de las redes DWDM terrestres y submarinas, permitiendo alcanzar una conectividad global en longitud de onda bajo el sistema de gestión común 1350.

## CAPITULO III

### RETOS TÉCNICOS DE LOS 80 GBIT./S EN LA TRANSMISIÓN SUBMARINA WDM

Los sistemas submarinos más avanzados que están actualmente en servicio se basan en la multiplexión por división de longitud de onda densa de canales a 10 Gbit/s. Esto quiere decir que la capacidad del sistema es de  $N \times 10$  Gbit/s, siendo N el número de portadoras (canales) ópticos, cada uno a una longitud de onda diferente y moduladas a la velocidad binaria de 10 Gbit/s. La introducción de una mayor velocidad, p. ej. 80 Gbit/s, no se esperaba en los enlaces desplegados en unos pocos años. Sin embargo, las primeras transmisiones WDM a la velocidad de canal de 80 Gbit/s fueron anunciadas por laboratorios de investigación en 2002 sobre distancias transoceánicas. Más tarde, se extendieron a distancias transpacíficas, pero no mostraron los márgenes adecuados para la implementación industrial real. En otras palabras, a pesar de la corrección por las técnicas FEC (corrección de errores en recepción) más avanzadas, las prestaciones, medidas en términos de factor-Q, no fueron lo bastante grandes en el laboratorio para asegurar que el mínimo factor Q requerido por el cliente se cumpliera tras factorizar en todas las esperadas penalidades industriales y de envejecimiento/reparación. Uno de los factores tecnológicos claves para alcanzar dichos resultados fue la actualización del formato de modulación a Alternate-Polarization Return-to-Zero Differential Phase Shift Keying (APol RZ-DPSK).

Además, se están usando repetidores basados en amplificación Raman en vez de los convencionales EDFAs (amplificadores de fibra dopada con erbio), para limitar la acumulación de ruido. Estos amplificadores requieren una disposición específica de la fibra para la eficaz reducción de los problemas de propagación a 80 Gbit/s.

#### **3.1. Formato de Modulación**

El formato de modulación indica el método usado para aplicar la información digital entrante a cada portadora óptica. El método más directo para hacerlo a B Gbit/s (p. ej., 40 Gbit/s) es ASK (modulación por desplazamiento de amplitud), es decir conmutando la

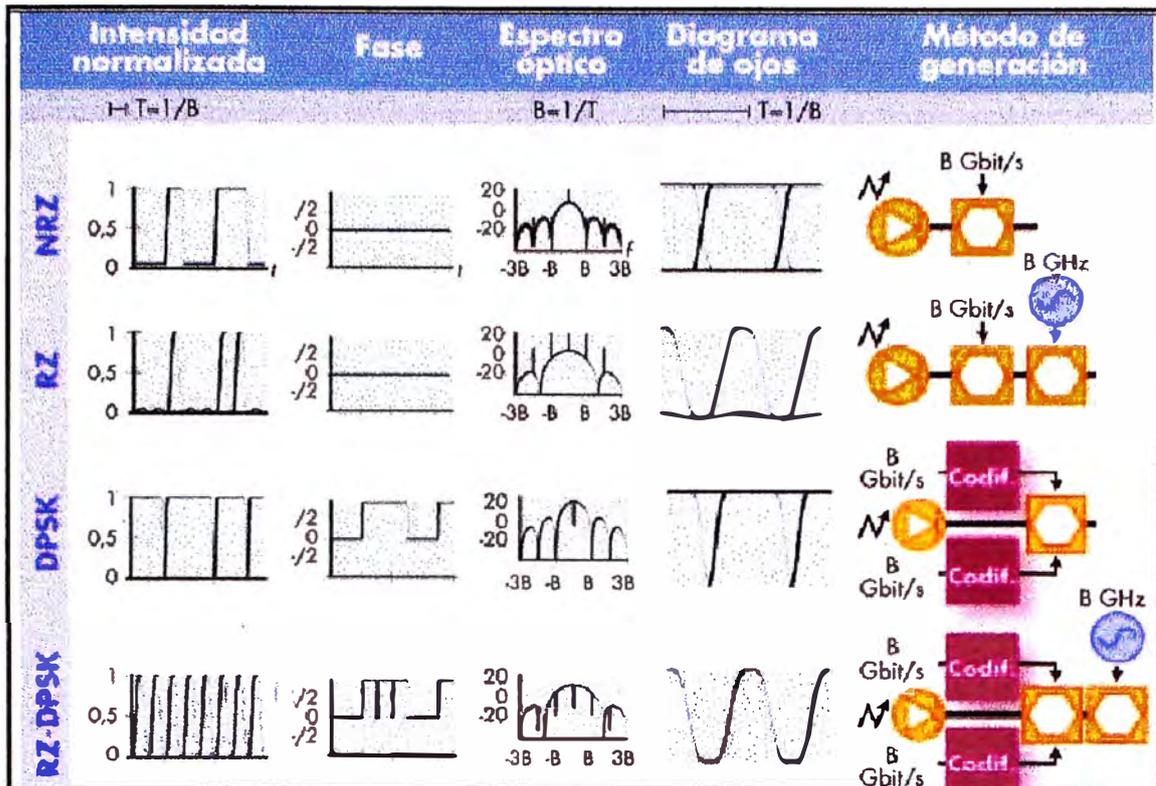
intensidad de luz de salida del láser ON u OFF dependiendo de si el símbolo a transmitir es una marca ("1") o un espacio ("0"), a una velocidad igual a la frecuencia de información B GHz (p. ej., 40 GHz).

Esta operación se alcanza muy frecuentemente aplicando la señal eléctrica a un modulador de amplitud electro-óptica alimentado con luz de láser. Produce los llamados datos NRZ (sin retorno a cero). La **figura 3.1** muestra la forma de onda calculada de una secuencia binaria de 8 bits con la correspondiente intensidad, fase, y diagrama de ojos, modulados con formato NRZ, así como con todos los otros formatos debatidos más adelante. Se dibuja el espectro óptico asociado, así como los esquemas de las formas más convencionales de generar los formatos. El formato RZ (retorno a cero) se ha contemplado con frecuencia como una prometedora alternativa ASK a NRZ. Con RZ, cualquier símbolo "1" se representa por un impulso que puede ser de duración variable.

**Amplificación Raman** La amplificación Raman es una técnica usada para aumentar la potencia de una señal óptica entrante. Un haz óptico de alta potencia (bombeo) se envía a la fibra de transmisión con la señal, preferiblemente contra la propagación. La señal se amplifica como un resultado de interacciones entre el material de fibra de silicio y los fotones de bombeo. Dicha técnica se puede usar para abarcar con mayores longitudes de vano de repetidor y capacidades que con más amplificadores de fibra dopadas con erbio convencionales (EDFAs).

**Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK)** Modulación en la que cada condición importante de una señal de modulación digital se representa por un valor específico de la amplitud de una oscilación sinusoidal

**Modulación por desplazamiento de fase (PSK)** Una técnica de modulación donde cada símbolo binario (1 ó 0) se representa por un valor específico de la fase de luz, p. ej., 0 ó  $\pi$ .



**Fig. 3.1 – Características Típicas de los formatos de modulación**

Este impulso se graba normalmente en la forma de onda NRZ por un modulador de amplitud electro-óptica especializada. Mientras que a 10 bit/s, los formatos ASK se están usando exclusivamente en productos, la modulación por desplazamiento de fase diferencial (DPSK) sobrepasa a ASK en 40 Gbit/s. En este caso, la información se transporta por la propia portadora. Los datos DPSK se generan pasando la luz del láser en un dispositivo electro-óptico que modula la fase óptica. Con frecuencia, este dispositivo se concatena con un grabado de pulso (idéntico a un modulador RZ pero dirigido por un reloj) para crear los datos ópticos RZ-DPSK. Sea DPSK o RZ-DPSK, se tiene que usar algún truco en el extremo receptor, ya que los fotodiodos usados para convertir los datos ópticos en datos eléctricos son esencialmente sensibles a la intensidad. El truco más común es la detección diferencial, es decir la comparación de la fase de un cierto bit con la del siguiente, antes del fotodiodo.

Esta operación se lleva a cabo en un interferómetro de fibra pasivo que tiene un brazo más largo que el otro por la longitud de un bit. Note que la detección diferencial aleatoriza los datos ópticos que pueden por ello sólo ser recuperados si pasa a un precodificados en la parte del transmisor. Además, el interferómetro tiene la ventaja de tener dos brazos de salida transportando salidas complementarias de la señal de intensidad convertida. Al salir de receptores convencionales con ASK, y tener dos fotodiodos funcionando en paralelo (sus foto corrientes se restan en el extremo), es posible mejorar la robustez

frente al ruido (y por ello el margen del sistema) por unos útiles  $\sim 3$  dB. En otras palabras, si el nivel de potencia óptica en cada entrada de la fibra se reduce por  $\sim 3$  dB con respecto a las especificaciones de potencia para formatos ASK, las prestaciones del sistema aún caerían dentro de los requisitos del cliente.

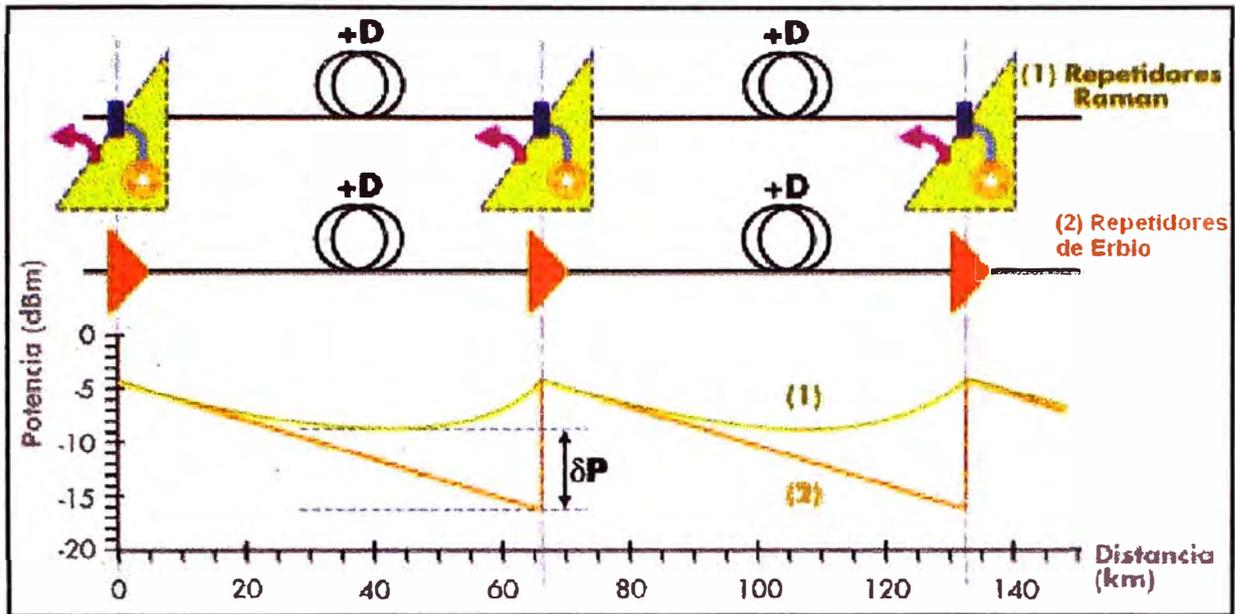
Adicionalmente, el nivel óptico también podría incrementarse con respecto a las especificaciones de potencia para formatos ASK, debido a que los formatos DPSK y RZ-DPSK tienen una excelente resistencia intrínseca a los problemas de propagación dependientes de la potencia (conocidos como efectos no lineales entre canales). En nuestros experimentos, hemos aumentado aún esta resistencia. Usamos el hecho de que la luz es pre-feriblemente modelada como un vector con dos componentes de polarización transversales. Al alternar la polarización de bits contiguos en un modulador especializado dirigido al medio de la frecuencia de información  $B$ , para crear los datos Alternate Polarization DPSK (APol RZ-DPSK), mostramos que los márgenes del sistema se pueden incrementar en otros 3 dB. Nótese que esta técnica APol requiere que el interferómetro de fibra pasivo del receptor tenga un brazo más largo que el otro por la longitud de 2 bits en vez de uno. Todas las facilidades antes mencionadas hacen de APol-RZDPSK uno de los formatos de modulación más prometedores para sistemas submarinos de 80 Gbit/s.

### **3.2 Diseño del Repetidor**

Para compensar las pérdidas de la fibra, la señal óptica debe volver a su valor inicial lo más frecuentemente posible.

Con este propósito, los repetidores se insertan periódicamente a lo largo del enlace (normalmente 150-200 sobre una distancia submarina transpacífica). En todos los sistemas ópticos desplegados, los repetidores se basan en la tecnología EDFA (amplificador de fibra dopada con erbio). En contraste, en nuestros experimentos, se basan en tecnología de amplificación Raman. La tecnología EDFA proporciona amplificación óptica en una sección muy corta de fibra especialmente diseñada, y por ello se puede contemplar como localizado si se compara con la longitud típica de vano de repetidor ( $>50$  km). Como contraste, la tecnología de amplificación Raman usa la propia fibra de transmisión como medio de amplificación, y por ello debería considerarse como distribuida. En cada repetidor Raman, se lanza una potente onda continua (normalmente hacia atrás) en la fibra de transmisión. Mediante el efecto de difusión Raman estimulada, esta onda sirve como una bomba para amplificar los canales WDM que se propagan en la

dirección contraria, suponiendo que su longitud de onda es casi 100 nm menor que la región de longitud de onda donde se necesite ganancia.



**Fig. 3.2 – Esquema de amplificación Raman distribuida, comparada con una amplificación de Erbio localizada**

Este esquema Raman puede mejorar la relación señal/ruido (OSNR), debido a su naturaleza distribuida. Se puede obtener una mejor comprensión de este fenómeno persión de Rayleigh también deberían ser tomados en cuenta cuando se evalúan los verdaderos márgenes del sistema proporcionados por la amplificación Raman. La difusión estimulada Raman proporciona ganancia sólo sobre una región limitada de longitudes de onda, y la uniformidad de ganancia se obtiene generalmente enviando varios bombeos a diferentes longitudes de onda simultáneamente en la fibra de transmisión. En nuestros experimentos, usamos cuatro bombas a 1439,5 nm, 1450 nm, 1461 nm y 1493 nm, proporcionando ganancia al ción (PMD) se origina de imperfecciones diminutas en la fabricación de la fibra que alteran la composición del material o de la geometría local de la fibra, causando anisotropía. Debido a esta anisotropía, los dos componentes de polarización del trayecto de la luz a diferentes velocidades, causando distorsiones no buscadas de la forma de onda. El efecto de PDM es especialmente perjudicial a altas velocidades, p. ej., 40 Gbit/s. Además, asumimos que la fibra de transmisión y todos los componentes del sistema exhiben un PMD muy bajo, por lo que es alcanzable calculando el cambio relativo en la potencia de señal a lo largo de un enlace con una longitud de vano de repetidor de 66 km, como se muestra en la **Figura 3.2**.

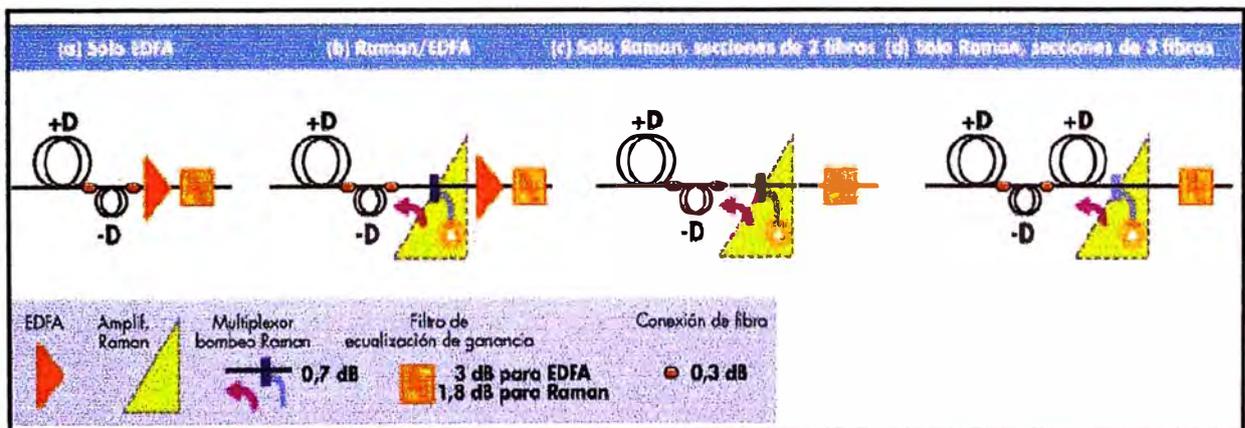
En presencia de la amplificación totalmente Raman, el decremento de la potencia resultante de las pérdidas de la fibra se para casi 20 km antes del siguiente repetidor. En este punto, el nivel de potencia es  $P$  mayor que en la entrada de un EDFA normal. Este mínimo nivel de potencia en el vano del repetidor  $P_{min}$  establece sobre todo la cantidad de ruido generado por todo el proceso de amplificación. Por ello, desplegar amplificadores Raman eficazmente reduce las pérdidas en el vano del repetidor varios dB (menor, pero en el rango de  $P$ ), o aumenta eficazmente el OSNR lo mismo. Sin embargo, al mismo tiempo, la potencia media a lo largo de la línea es mayor que con EDFA. Esto significa que las ventajas en términos de OSNR no se pueden explotar totalmente por márgenes extras, ya que la potencia en cada entrada de fibra se debe reducir para evitar romper el límite de potencia superior puesto por problemas de no linealidad. Una mejor comprensión de las reales prestaciones de Raman frente a erbio se proporcionará en el siguiente apartado de este artículo. Otros efectos negativos tales como la doble demultiplex de 32 nm de ancho, todas ellas enviando hacia atrás en cada vano de repetidor. Más en general, la compatibilidad de la amplificación Raman con mayores anchos de banda (mayores que EDFAs) probablemente está donde reside su mayor potencial, pero la necesidad de mayores anchos de banda no se espera que dirija al mercado durante los próximos años. Además, esta compatibilidad se debería contrapesar con uno de los mayores inconvenientes de los repetidores Raman, su consumo de potencia eléctrica. La potencia eléctrica es un recurso escaso en los sistemas submarinos debido a que la alimentación viene del propio cable.

### **3.3. Disposición de la Fibra**

Como los repetidores Raman usan la fibra de transmisión como medio de amplificación, se necesita una cuidadosa consideración para adaptar los parámetros de la fibra para unas óptimas prestaciones del sistema. Los tipos de fibra difieren principalmente en sus pérdidas, su área efectiva (que describe el confinamiento de la energía dentro de la fibra y por ello su sensibilidad a los efectos no lineales), y sus propiedades de dispersión cromática y de PMD (dispersión por modo de polarización). La dispersión por modo de polariza una distancia transpacífica. Esto se debería considerar como un objetivo muy difícil de cumplir a nivel industrial con las tecnologías existentes.

La dispersión cromática indica el fenómeno por el que diferentes componentes espectrales no viajan a la misma velocidad. Distorsiona las formas de onda, y por ello se deben compensar. Casi todos los enlaces submarinos desplegados se basan en un tipo de fibra llamada NZDSF (fibra con dispersión desplazada no nula). Sobre NZDSF, la

fuerte dependencia de longitud de onda de las características de dispersión cromática hace difícil compensar la dispersión uniformemente a lo largo de todos los canales WDM, lo que se requiere para alcanzar una relación uniforme de prestaciones frente a la longitud de onda. Esto es especialmente verdad a 40 Gbit/s, donde la sensibilidad a la dispersión es mayor que a 10 Gbit/s. Por ello, aquí consideramos un esquema de fibra diferente, involucrando dos tipos de fibra de dispersión positiva (+D) y negativa (-D) respectivamente, que se ha considerado para los sistemas submarinos más largos y exigentes a 10 Gbit/s, y parece más apropiado para una velocidad de canal de 40 Gbit/s que NZDSF. Para la fibra +D, las pérdidas típicas y el área efectiva son 0,185 dB/km y  $110\mu\text{m}^2$ , comparados con los 0,23 dB/km y  $30\mu\text{m}^2$  para la fibra -D. Las longitudes totales de las fibras +D y -D se dictan por la condición de que toda la dispersión de debería compensar. Esta condición aún deja diferentes posibilidades para concatenar las fibras D+/D-, que estudiamos a continuación en función de la configuración del amplificador. Comparamos cuatro configuraciones fibra/amplificador, como se muestra en la **Figura 3.3**.

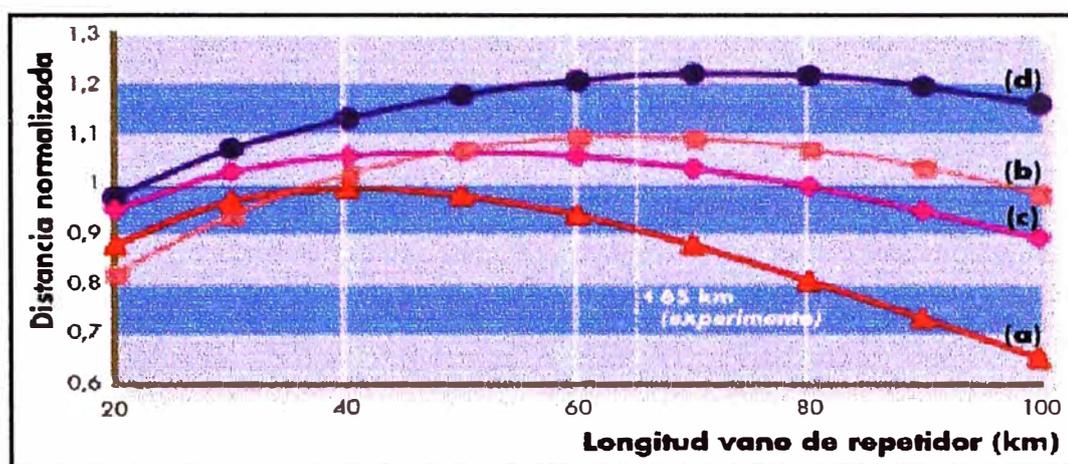


**Fig. 3.3 – Descripción de los esquemas de fibra investigados en función del tipo de repetidor (EDFA, Raman o híbrido Raman/EDFA. Cada esquema muestra todos los componentes de un único vano de repetidor.**

La configuración (a) es la configuración más estándar con repetidores EDFA. La configuración (b) es la réplica de la configuración (a), pero combina un preamplificador Raman y un EDFA en los repetidores, mientras que la configuración (c) sólo usa repetidores Raman. Finalmente, la configuración (d) difiere de la configuración (c) en el hecho de que la fibra de transmisión consta de tres secciones de fibra +D/-D/+ D, en vez de dos. Comparamos las prestaciones relativas de las cuatro configuraciones evaluando la máxima distancia alcanzable  $D_{\text{max}}$  frente a la longitud de vano del repetidor.  $D_{\text{max}}$  se obtiene cuando el límite inferior de potencia óptica dado por la tolerancia al ruido coincide con el límite superior de la potencia óptica dado por la acumulación de degradaciones no

lineales. Para una evaluación precisa. Hemos tenido en cuenta pérdidas de inserción realistas para todos los componentes críticos de los repetidores.

En particular, se necesita un filtro de ecualización de la ganancia en cada amplificador, para contener la excursión de potencia frente a la longitud de onda a lo largo del enlace. En nuestra simulación, asumimos unas pérdidas de inserción máximas del filtro ecualizador de la ganancia, que son 1,2 dB mayores que con repetidores basados en EDFA que con aquellos basados por completo en Raman. Esto explica el hecho de que los EDFAs exhiben generalmente mayor no uniformidad de ganancia que los amplificadores Raman. También hemos tenido en cuenta las relativamente altas pérdidas en los empalmes de la fibra –D, a 0,3 dB por empalme.

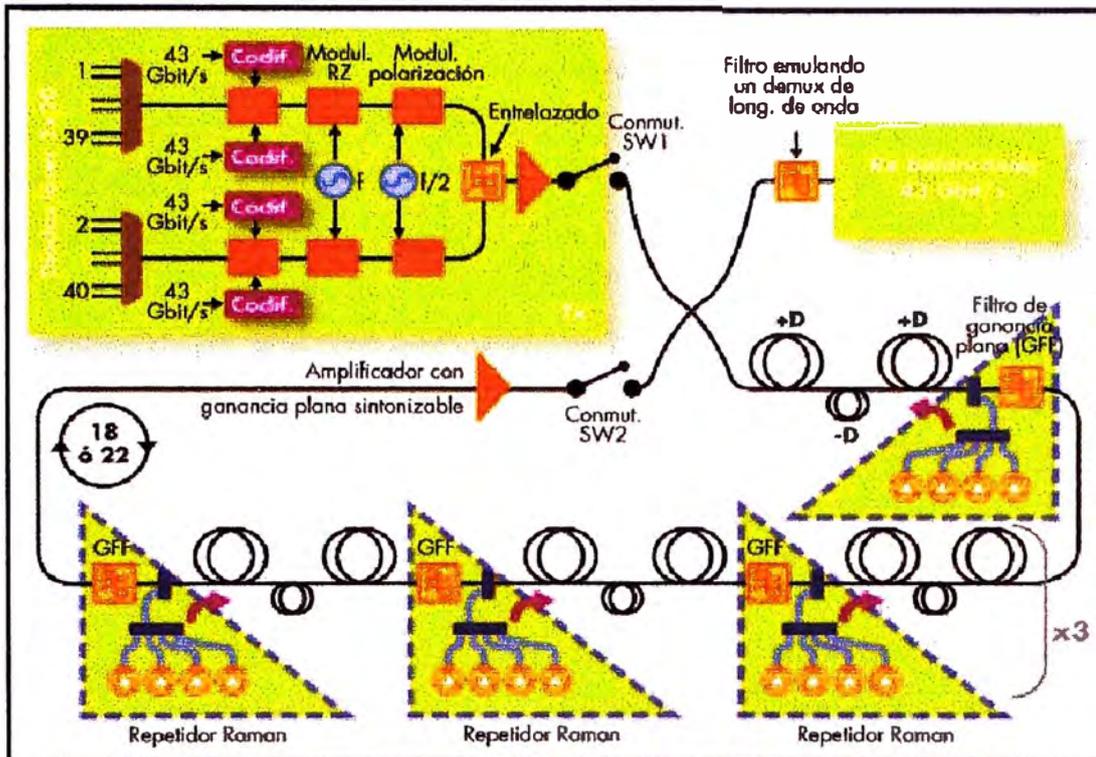


**Fig. 3.4 – Impacto del esquema de amplificación y la longitud del vano en las prestaciones del sistema**

En la **Figura 3.4**, hemos trazado la  $D_{max}$ , normalizada a la distancia máxima que se puede obtener con la longitud óptima de vano en la configuración EDFA (a), es decir 40 km. En la mayoría de los casos, se encuentra que las configuraciones que involucran alguna forma de amplificación Raman funcionan mejor que las basadas en EDFA solamente, pero la ventaja no se traduce en más que un 20% de incremento en el alcance máximo  $D_{max}$ . Además, con configuración convencional de fibra +D/-D de dos secciones, una configuración híbrida EDFA/Raman (b) sobrepasa ligeramente la configuración totalmente Raman (c), especialmente cuando la longitud de vano del repetidor supera los 40 km. Sin embargo, la configuración ganadora es (d), es decir la que sólo usa amplificadores Raman, pero con tres secciones de fibra +D/-D/+D. Visto que un esquema de tres secciones sería de un interés limitado con EDFAs, ello resalta las ventajas de la amplificación Raman al asegurar que el máximo nivel de potencia óptica se encuentra al principio y al final de cada vano de repetidor en el tipo de fibra (+D), que tiene la mayor área efectiva y es por ello menos sensible a los defectos no lineales. Note

que los mayores beneficios se obtienen con una longitud de vano de repetidor óptima de ~60-80 km, significativamente mayor que la longitud de vano óptima con la configuración (a) basada en EDFAs (~40 km).

### 3.4. Experimento WDM de laboratorio



**Fig. 3.5 – Disposición del experimento. 18 Bucles de 510 Km emulan una distancia transpacífica de 9180 Km.**

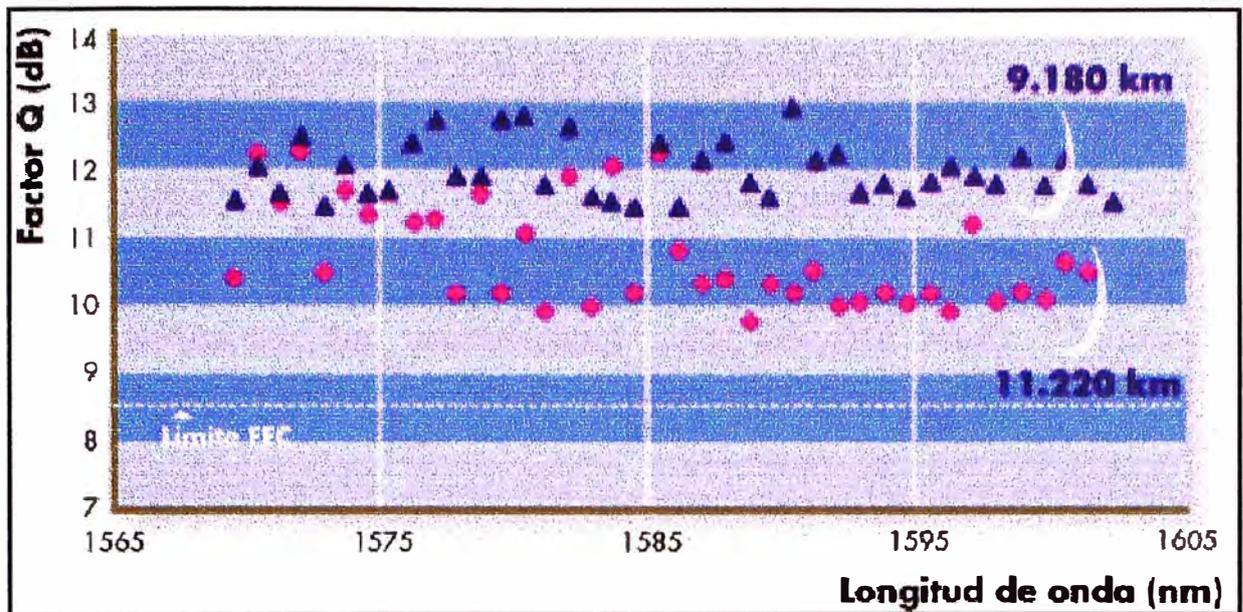
La **Figura 3.5** muestra la disposición del experimento de laboratorio realizado en Alcatel Research and Innovation para emular un sistema submarino de Nx40 Gbit/s. El transmisor WDM consta de 40 diodos láser con longitudes de onda que van de 1569,54 nm a 1602,32 nm. Debido a los problemas de costo obvios, no se modulan todos los láseres con información independiente; en su lugar, en cada banda se combinan en dos conjuntos de canales espaciados 200 GHz, correspondientes a los canales impares y pares respectivamente, a través de 1x20 multiplexores de guías ondas en array. Estos conjuntos se modulan independientemente, con el formato APol RZ-DPSK por secuencias de bits pseudo aleatorias de 223-1 bits a 40 Gbit/s con el 7% de datos de tara, es decir a 43 Gbit/s. La tara emula la presencia de FEC (corrección de errores en recepción), una técnica digital para corregir errores en el flujo de datos recibidos, que ya es parte de todos los sistemas de transmisión WDM. Los canales impares y pares se

entrelazan y se relanzan en el EDFA y alimentan nuestro bucle de recirculación mediante un conmutador SW1 y un acoplador 3 dB.

Un bucle es una forma conveniente de emular una transmisión sobre distancias muy largas, sin recurrir a la cantidad requerida de fibra y repetidores. Incorpora un conmutador SW2, que, como SW1, es controlado por generadores de retrasos, arrancando el equipo de medida sincronizado con el bucle. Inicialmente, el bucle se rellena con un flujo de datos que viajan en el sentido de las agujas del reloj tras cerrar SW1, y mantener abierto SW2. Entonces, SW2 se cierra y SW1 se abre en  $t_0$ , que inicia la circulación de los datos cargados. Una fracción de la luz de estos datos es extrae continuamente por un acoplador de bucle y es detectada por el receptor. La calidad de la transmisión se evalúa comparando la secuencia de datos recibida con la inicial. El número de errores en bits frente al número de bits transmitidos da el BER (tasa de errores en los bits). Este BER se mide sólo dentro de una pequeña ventana de puertas empezando en  $t > t_0$ , para seleccionar solamente los datos que han viajado un número dado  $n$  de propagaciones (es decir una distancia dada), siendo  $n$  simplemente derivado de un tiempo de propagación de bucle y  $t - t_0$ .

Nuestro bucle de recirculación consta de siete vanos de fibra de 65 km de longitud (casi el óptimo de la **Figura 3.4**), más un vano de 55 km de longitud, totalizando una distancia de 510 km. Cada vano incorpora tres secciones de fibra +D/-D/+D en la configuración de fibra (d). Los vanos están separados por repetidores basados en amplificación Raman. Todos ellos incorporan un filtro de ecualización de ganancia, pero se hace una posterior ecualización de potencia en el laboratorio con un dispositivo dinámico especializado. Para compensar su pérdida y todas las otras pérdidas específicas del bucle, se inserta un amplificador Raman al final del bucle, basado en una sección de fibra especializada. En el extremo del receptor, la señal se envía a un preamplificador EDFA. La dispersión cromática se sintoniza finamente antes del fotodiodo para así cumplir los requisitos del receptor. La selección de canal se lleva a cabo por un filtro óptico sintonizable emulando a un demultiplexador de longitud de onda. Las dos salidas complementarias del demodulador se envían a un receptor balanceado de 43 Gbit/s.

Ahora registramos los BERs de todos los 40 canales tras 18 bucles y 22 bucles, que se corresponden con las distancias de 9.180 km y 11.220 km respectivamente. Los BERs se han convertido numéricamente en factores Q mediante la bien conocida relación, y se trazan para ambas distancia en la **Figura 3.6**.



**Fig. 3.6 – Factor Q de los 40 canales tras distancias de 9180 Km y 11220 Km.**

A 9.180 km, los factores Q de todos los canales se mejoran de 11,5 dB. Un FEC de tercera generación alcanzaría más de 10 –13 BER tras la corrección cuando el factor Q es superior al límite de 8,5 dB (BER de  $4 \cdot 10^{-3}$ ). Así, 11,5 dB está por encima de 3 dB del límite FEC, y debería ser compatible con los requisitos de márgenes industriales. Cuando la distancia de transmisión se incrementa hasta 11.220 km (una distancia récord para sistemas de 40 Gbit/s), las prestaciones del peor canal (9,9 dB) aún están 1,4 dB por encima del límite FEC.

## CAPITULO IV

### LAS OPERADORAS DE CABLES SUBMARINOS Y SU PAPEL EN UNAS TELECOMUNICACIONES MUNDIALES LIBERALIZADAS

Hasta hace unos meses las operadoras de cables submarinos intercontinentales formaban un poderoso grupo de compañías emergentes al que se le auguraba un brillante futuro. Estaba, y está, formado por un reducido número de empresas entre las que se pueden citar: Global Crossing, Tycom, 360, Emergia, Level 3 (que se está saliendo en la actualidad de este negocio), Williams (incluido en este grupo con muchas reservas), GTS (ya desaparecida), FLAG Telecom y algunas otras, entre las que se pueden incluir compañías operadoras de cables submarinos locales tales como Islalink, empresa privada emergente que acaba de anunciar la finalización de un cable submarino entre la península y Mallorca. Todas ellas son poseedoras de cables submarinos de fibra óptica, utilizados para suministrar capacidad de transmisión a otras operadoras. La mayoría de ellas han sido constituidas en los últimos 6 u 8 años, a la vista de las oportunidades ofrecidas por un entorno mundial liberalizado, por la explosión de las compañías punto.com, que deslumbró a los mercados hace varios años, y por una expansión, que se esperaba impresionante, de los servicios de banda ancha.

**TABLA N° 4.1**

<b>Grandes Operadoras de Cables Submarinos</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Longitud de cables</b>
Global Crossing	>100.000 Km
TYCO Telecommunications	90.000 Km
FLAG Telecom	82.500 Km
360	34.000 Km
EMERGIA	25.000 Km
Level 3	6.350 Km (1)
Williams	N.D.

(1) Al 50% con GC

#### **4.1. Un Subsector con Futuro**

Hoy algunas de esas compañías están pasando por malos momentos. Global Crossing, que podría considerarse como la primera empresa de este grupo, por ejemplo, buscó el

pasado 29 de enero la protección de la declaración de suspensión de pagos y anunció una reestructuración profunda de sus actividades mundiales con entrada de nuevos accionistas en su capital social. La compañía 360, casi sin llegar a operar y tras una rápida construcción de cables alrededor del mundo, se declaró en bancarrota a mediados del año pasado. GTS dejó de operar hace algunos meses, habiéndose repartido sus activos entre varios otros operadores. Level 3 ha pasado por graves dificultades que la han llevado a detener algunos de su proyectos de expansión mundial y a retirarse silenciosamente de algunos de los mercados en los que había comenzado a actuar. Y Williams también parece tener algunos problemas en su funcionamiento.

Las restantes muestran menos dificultades, pero su actividad, empezando por su cotización en bolsa, se ve fuertemente afectada por los problemas de sus competidores. De la lista indicada anteriormente Emergia, que explota el cable SAM-1, construido alrededor de Sur y Centroamérica, marcha razonablemente bien, entre otras cosas porque es propiedad casi al 100 % de Telefónica y tiene un amplio mercado cautivo formado por todas las subsidiarias de Telefónica en esa parte del mundo. Esta empresa no cotiza en bolsa, por lo que se encuentra también al abrigo de la volatilidad actual de esta institución generadora de financiación.

Tycom, empresa que ha adquirido relevancia mundial como fabricante e instalador de cables submarinos y como suministrador de servicios de operación y mantenimiento de dichos cables, para lo cual dispone de la mayor flota actual de buques cableros, anunció hace algún tiempo su entrada en el negocio de operadoras habiendo construido ya algunos cables para su explotación. Su presencia en el mercado parece estar garantizada por el hecho de pertenecer a Tyco, un gigante norteamericano con grandes recursos. El fortalecimiento de esta empresa comenzó a finales del pasado año con la compra de todas las acciones en bolsa de Tycom por parte de Tyco y su posterior salida del mercado de valores. En las últimas semanas se ha anunciado además el cambio de nombre de Tycom que pasa a denominarse Tyco Telecommunications y, también, su posible incorporación a una de las grandes divisiones en las que se ha estructurado el poderoso grupo Tyco, en concreto, la División de Electrónica.

FLAG Telecom, por último, es una operadora de cables submarinos intercontinentales, notable por muchos motivos. Está acostumbrada en primer lugar a batir récords, tales como poner en marcha el cable submarino más largo de la historia, el denominado FLAG Europe Asia (FEA) entre el Reino Unido y Japón: más de 28.000 kilómetros de cable submarino a través, literalmente, de los siete mares. Instalar en el Atlántico Norte el cable de mayor capacidad jamás instalado: el FA-1 de 5 Terabits/s y dotado de tecnología DWDM. O, ser el primer cable privado que llegó a China. FLAG es además una empresa

que no se ha dejado arrastrar por las exuberancias de los mercados de capitales de los últimos años y que ha practicado una política financiera cautelosa. Su situación de endeudamiento es muy razonable y sus ventas se han mantenido relativamente bien en un año difícil como ha sido el 2001, lo cual le ha permitido mantener un EBITDA positivo en los cuatro trimestres de dicho ejercicio. Los resultados de su salida a bolsa a primeros del 2000 fueron excelentes y posee liquidez suficiente para afrontar largos periodos de baja actividad de los mercados de capacidad. La mayoría de los analistas financieros la señalan como uno de los valores más atractivos --dentro de la atonía general de los valores de telecomunicaciones-- de las bolsas de Nueva York y Londres en las que cotiza, a pesar de que, como en el caso de muchas otras empresas, sus acciones se han visto penalizadas y arrastradas por lo ocurrido en el sector de las telecomunicaciones en los últimos meses.



**Fig. 4.1. Sistema Submarino Euro-Asiático**

## **4.2. Tipología de Empresas**

Las telecomunicaciones hoy son complejas y difíciles de analizar en todos los sentidos. Diversas oleadas de cambios tecnológicos, la fuerte liberalización del sector y la convergencia e integración con los mundos cercanos de la Información-Informática y los Medios de Comunicación, por citar sólo tres de los fenómenos que han actuado sobre ellas, las han dejado prácticamente irreconocibles si se comparan con la situación existente sólo seis u ocho años atrás. En esa época, la actividad de todo el sector coincidía exactamente, en el caso concreto de España, con la actividad de una sola empresa: Telefónica, que ya se había vuelto compleja por haber incorporado a sus actividades la transmisión y conmutación de datos, por estar introduciendo a gran velocidad la tecnología digital en sus redes y por diversificar enormemente la oferta de

servicios. Todavía, no obstante, resultaba fácil analizar aspectos diversos relacionados con el funcionamiento de las telecomunicaciones. Era mucho más fácil, por ejemplo, determinar la facturación total del sector, mano de obra empleada, valor añadido, porcentaje de las telecomunicaciones en el PIB nacional y muchos otros aspectos relacionados con la evaluación y medida general de la actividad. También resultaba fácil explicar y describir la red de telecomunicación nacional y su funcionamiento, y hacer consideraciones tendenciales sobre su expansión. Igualmente era relativamente sencillo saber en qué consistía una empresa operadora de telecomunicaciones y de qué partes se componía.

En la actualidad todo eso es mucho más complicado, empezando por la distinción entre unos tipos de operadoras y otros. En el mundo existen hoy miles de empresas operadoras y, a pesar de los intentos de diferenciarse de muchas de ellas, la tarea se manifiesta complicada. Da la impresión de que al final todas las compañías tienden a ser operadoras globales, incluyendo su presencia internacional, a pesar de haber empezado especializándose en ciertas áreas parciales de los negocios de telecomunicación.

Tal es lo que ocurre con los llamados carriers' carriers, u "operadoras de operadoras", empresas nacidas en principio para suministrar servicios a otras operadoras y que nunca, por definición, tienen como cliente al denominado usuario final de las telecomunicaciones. No están nunca, por decirlo de otra manera, en la última milla, es decir en el bucle local que lleva los servicios de telecomunicación hasta las familias, SOHOS y empresas. Tampoco suelen participar en los servicios de conmutación, aunque esto está cambiando aceleradamente a medida que la conmutación desaparece como actividad centralizada de las redes de telecomunicación.

Compañías como GTS o Global Crossing, por ejemplo, empezaron como carriers' carriers pero muy pronto anunciaron su intención de dirigirse a todo tipo de clientes con las dificultades que eso entraña, como veremos más adelante.

Las operadoras de cables submarinos son genuinos carriers' carriers. Sus clientes son siempre otras operadoras y sus servicios consisten básicamente en el suministro de infraestructuras de transmisión a larga distancia. Puede haber carriers' carriers que suministren a otras operadoras capacidad a larga distancia mediante cables o redes terrestres, por lo que el cable submarino no tiene por qué ser definitorio de un carriers' carriers. Digamos que el conjunto es carriers' carriers y el subconjunto operadora de cable submarino. Una empresa de cables submarinos es un carriers' carriers, pero hay muchos carriers' carriers que no prestan servicios intercontinentales y no poseen, por tanto, cables submarinos. Para hacer más complicado el asunto, hay carriers' carriers que proporcionan circuitos punto a punto a cualquier destino mundial, incluyendo las

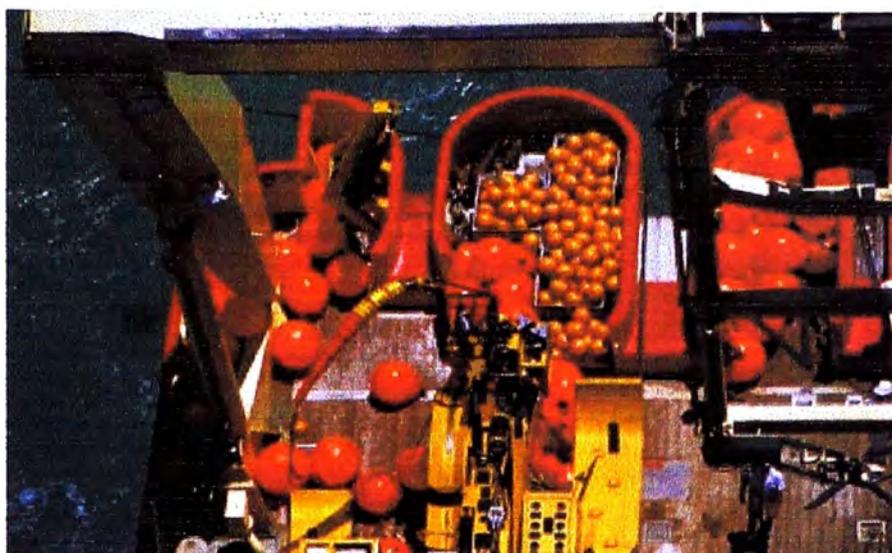
conexiones intercontinentales, sin ser propietarios de cables submarinos. Simplemente adquieren capacidad en cables submarinos existentes y la revenden tanto a otras operadoras como a sus clientes finales. Cable & Wireless o KPNQwest, serían operadoras de este tipo. Sus redes de capacidad tienen alcance mundial pero no operan ellas mismas ningún cable submarino. Y eso que, dicho sea de paso, Cable & Wireless tuvo desde 1983 hasta 1999 su propia filial de cables submarinos, Global Marine Systems Ltd, empresa vendida en ese último año a la entonces emergente Global Crossing.

**TABLA N°4.2 Negocios de Capacidad por Servicios**



**4.3. FLAG Telecom.**

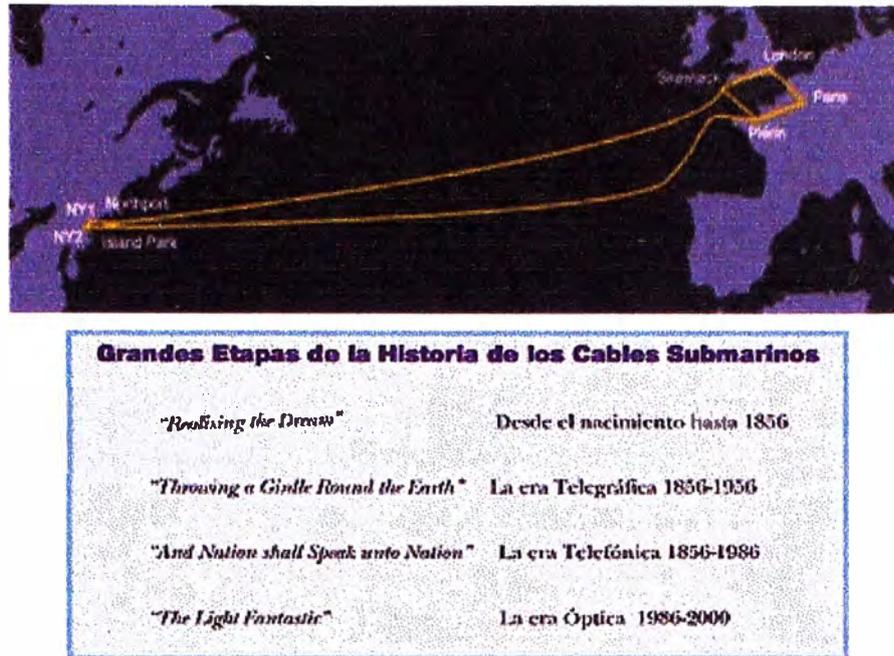
FLAG Telecom podría ser un ejemplo de operadora de cable submarino a utilizar como referencia. Hacia 1992, NYNEX, la antigua “Baby Bell” explotadora de las telecomunicaciones en el estado norteamericano de Nueva York, descubrió que había una fuerte escasez de capacidad de transmisión en el medio Oriente en general y en el Golfo Pérsico en particular, lo que hacía muy difícil conectar esta zona con Europa y Estados Unidos. Decidió resolver ese problema construyendo un cable submarino, pero además, identificó dicha escasez como una oportunidad de negocio y, teniendo en cuenta la ya extendida liberalización mundial, decidió construir el cable sin la colaboración de otras operadoras, como había sido lo habitual hasta entonces. Decidió invertir ella sola en el cable y vender posteriormente capacidad a cualquier operadora que lo necesitara, incluyendo las operadoras de los países por los que el cable discurriría.



**Fig. 4.2. Instalación de un Sistema de cable Submarino**

Más adelante, con la fusión de NYNEX y Bell Atlantic, el proyecto se amplió, diseñándose un cable submarino mucho más largo entre el Reino Unido y Japón. Se aprovechó además para crear una empresa totalmente independiente en la que se dio cabida a accionistas procedentes de los países en los que el cable iba a tocar, no relacionados, por cierto, con las telecomunicaciones. Nació así FLAG, denominación que es un acrónimo de "Fiberoptic Link Around the Globe", con el único objetivo de construir el cable, operarlo y vender su capacidad a cualquier otra operadora que la necesitara.

En Noviembre de 1997 el cable quedó totalmente terminado con un recorrido de más de 28.000 km, 17 estaciones costeras y presencia en 13 países. La empresa se consolidó como operadora de cables submarinos y muy pronto comenzó a desarrollar la vocación de circunvalar el globo terráqueo recogida en su nombre. En el verano del 2000, al primer cable siguió el FLAG Atlantic-1, entre Paris / Londres y Nueva York, el cual resulta ser el cable más moderno y de más capacidad instalado en el mundo, con un doble recorrido en el Atlántico Norte de más de 14.000 Km. Un tercer cable en el Nordeste de Asia, conectando Hong Kong, Taipei, Seúl y Tokio, ha visto la luz en los últimos meses, así como diversas ampliaciones y extensiones del cable FEA. La compañía, por otra parte, ha sido lo suficientemente prudente como para detener el proyecto de construcción del FLAG Pacific1, a la vista de las dificultades actuales del sector en todo el mundo.



**Fig. 4.3 Grandes Etapas en la Historia de los Cables Submarinos**

Al principio, los servicios de FLAG eran limitados, porque los cables sólo tocaban en las estaciones costeras y a ellas sólo llegaban, con algunas excepciones, las compañías operadoras dominantes. El servicio más generalizado era el de venta de capacidad en forma de IRUS (Derechos irrevocables de uso a la vida del cable). Un operador internacional podía adquirir, por ejemplo, 1 STM1 (155 Megabits/segundo) entre Londres y Japón por los 20 a 25 años de vida del cable; un DS3 (45 Megabits/segundo) entre Porthcurno (estación costera en el Reino Unido) y Estepona (estación costera en España), también a la vida del cable; un E1 (2 Megabits/segundo) entre Estepona y la estación costera en Italia situada en Palermo; y en general, cualquier capacidad entre cualquier par de estaciones costeras. Lo normal era vender estas capacidades a las operadoras dominantes que eran las que disponían de redes hasta las estaciones costeras o a otros operadores internacionales con capacidad de intercambiar tráfico con los operadoras dominantes.



**Fig. 4.4. Enterramiento del Cable Submarino en la Estación Terrena**

Al abrigo de la liberalización surgieron otras operadoras con capacidad de conmutación y de transmisión sólo en las grandes ciudades que enviaban su tráfico internacional a través de circuitos internacionales punto a punto alquilados normalmente a las operadoras dominantes. Las operadoras de cables submarinos buscaron entonces la forma de hacerse con redes propias o con capacidad en otras redes, desde las estaciones costeras hasta el centro de las grandes ciudades donde operaban las nuevas compañías de telecomunicaciones. Como dichas compañías comenzaban sus actividades con poco tráfico y sin saber muy bien si iban a tener o no éxito, se inclinaron por demandar circuitos en régimen de alquiler anual. Surgió así lo que con terminología del sector se llama servicios MBS (Managed Bandwidth Service o Servicio de Banda Ancha Gestionada).

Algunas operadoras de cables submarinos terminan haciéndose con redes terrestres y con el tiempo, además, dichas redes se transforman en redes IP, con lo que el número de servicios ofrecidos aumenta considerablemente.

- **La misión de las carriers' carriers.**

Si uno se retrotrae a los años anteriores a la década de los 70, cuando las operadoras de telecomunicaciones eran sobre todo compañías de teléfonos y el monopolio nacional constituía la forma más generalizada de explotación de estos servicios, resulta muy fácil establecer las grandes áreas de que se componían dichas operadoras. Estaba, por un lado, el bucle local o bucle de abonado que constituía, y constituye todavía, esa última milla a la que ya se ha hecho referencia. Por otro, las redes terrestres extendidas por todo el territorio en que la compañía operaba, con su entramado de puntos de concentración, centrales locales y grandes centros de conmutación y con sus redes troncales (backbone) conectando unas ciudades con otras o unas centrales con otras.

Por último existían las conexiones internacionales, incluidas las intercontinentales.

Así como en las dos primeras áreas una operadora nacional era propietaria y responsable única de su red, en la tercera, es decir, en las conexiones internacionales de larga distancia, sobre todo las intercontinentales, casi siempre a partir de los primeros cables submarinos telefónicos, se adoptó la fórmula de construir dichos cables a través de un club o consorcio. Si se trataba de construir un nuevo cable a lo largo del Atlántico Norte, por ejemplo, diversas empresas operadoras (o PTTs, por lo que se refiere a Europa), explotadoras de monopolios en distintos países, por ejemplo BT, France

Telecom, Telefónica y AT&T, se ponían de acuerdo, financiaban el cable, lo construían, creaban la organización de operación y mantenimiento y se repartían entre ellas la capacidad disponible. La capacidad de transmisión intercontinental adquirida por cada empresa entraba inmediatamente a formar parte del monopolio regional del que las mencionadas empresas disfrutaban.

Cuando la liberalización se extendió en el mundo a partir del desmembramiento de AT&T en Estados Unidos en 1984, no resultó extraño pensar que esos cables contruidos a través de clubes creados ad hoc pudieran ser objeto de la iniciativa privada. Si los cables diseñados y planificados por un club de empresas vendían toda su capacidad, antes incluso de comenzar a construirse, ¿por qué no iba a vender su capacidad a los operadores incumbentes tradicionales y a otros operadores nuevos surgidos al abrigo de la liberalización mundial, una empresa privada que construyera un cable?.

Estas empresas podrían especializarse y conseguir dos objetivos generales, básicos para su éxito, e incuestionables para hacer desistir a las operadoras tradicionales de volver a plantearse la construcción de cables en forma de clubes. Dichos objetivos eran una calidad técnica indiscutible y un precio sin comparación con ningún proyecto alternativo. Para conseguirlo, las nuevas empresas contaban con la tecnología, incluyendo la fibra óptica submarina que resultó un hecho a partir de 1986, y su especialización, que las hacían diferentes a las operadoras globales en muchos sentidos. Estas operadoras, por ejemplo no necesitarían, como necesitan las operadoras orientadas a los clientes finales, costosos estudios de mercado, costosos call centers, complejos sistemas de facturación y poderosas organizaciones de venta, formadas por cientos y miles de personas. En mercados nacionales, por ejemplo el español, estas operadoras tendrían a lo máximo 10, 15 ó 20 clientes y su actividad comercial sería relativamente fácil y poco costosa. Otra cosa sería la red mundial en sí, desde el punto de vista técnico y su operación, aspecto en el que las operadoras de cable no pueden escatimar ni esfuerzos ni recursos. Puesto que sus redes constituyen la base de las redes de otras operadoras, la calidad de servicio y de funcionamiento tiene que alcanzar los estándares más exigentes.

Calidad técnica y precio muy bajo serían, por tanto, sus dos grandes ventajas competitivas, pero para ello las operadoras de cables submarinos debían no abandonar su perfil. Muchas no han respetado esta regla y han terminado sucumbiendo. Transformarse en operadoras globales y orientarse a clientes finales partiendo de una estructura de cables submarinos intercontinentales, sin tener, como es lógico, redes locales y acceso a la última milla, puede que haya sido uno de los errores de bulto en los que han caído diversas operadoras de cables submarinos. Tratar de construir esa presencia local en todo el mundo y en cortísimos periodos de tiempo constituye otro error

del mismo calibre. Además, claro está, de canibalizar a sus clientes naturales e introducir confusión y desorden en los mercados. Todo eso, dicho sea de paso, ha sido evitado por FLAG Telecom.

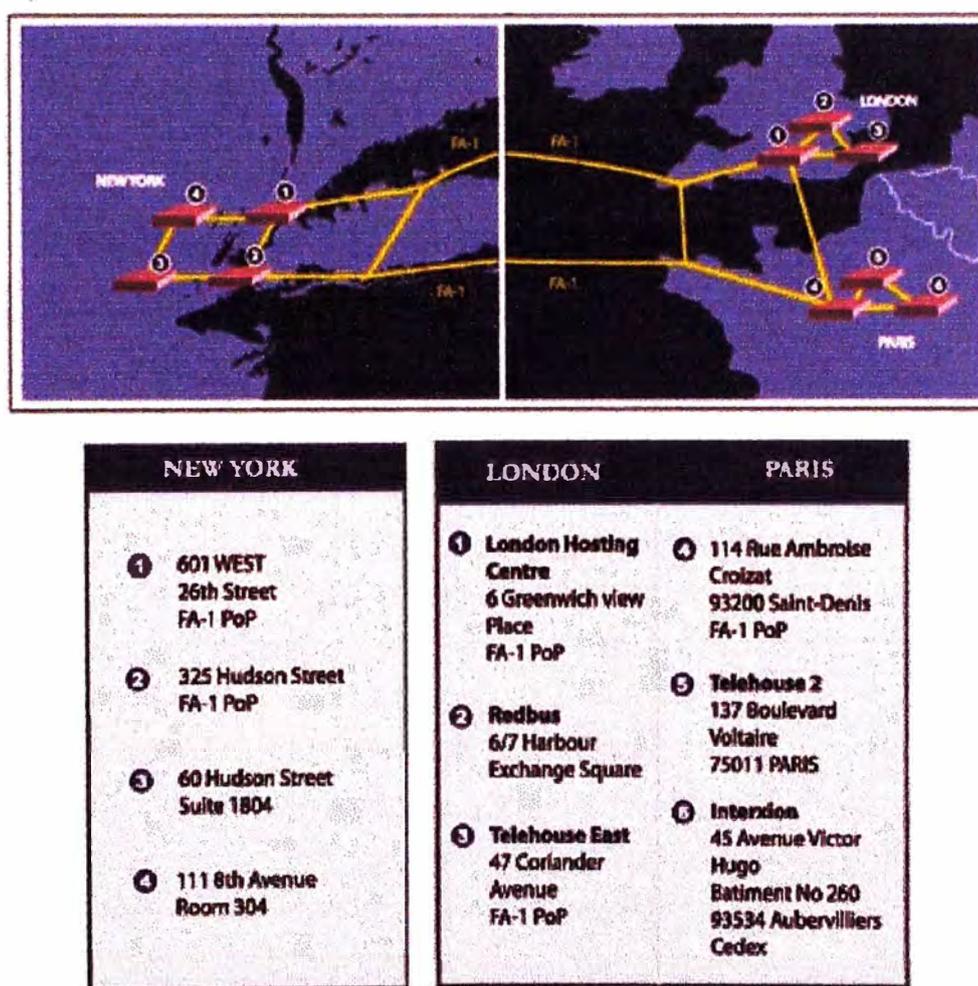
Concebidas de forma correcta, las operadoras de cables submarinos son empresas básicas para la verdadera liberalización de los mercados de telecomunicaciones. Son, en realidad, las que pueden traer consigo la liberalización, ya que su actividad permite que los costes medios de las telecomunicaciones internacionales puedan descender por debajo de los costes de las redes previamente existentes. Cuando un operador internacional emergente se establece en un determinado país en las primeras etapas después de la liberalización, lo normal es que se oriente a proporcionar conmutación y transmisión internacional alquilando circuitos punto a punto al operador incumbente, que es el único que dispone de ellos. Al principio, el operador emergente puede obtener un beneficio debido a las altas tarifas internacionales existentes, pero a medida que el operador incumbente baja dichas tarifas se va quedando sin márgenes hasta que al final es echado del mercado si no viene un operador de larga distancia a bajar el coste del circuito punto a punto adquirido al operador dominante.

Esa misión de bajar los costes medios del monopolio y permitir a otras operadoras desarrollarse y competir con las operadoras dominantes, es común a todos los carriers' carriers. Para poder llevarla a cabo la competencia entre carriers' carriers tiene que ser limitada ya que por el hecho de tener estas complejas infraestructuras intercontinentales costes marginales continuamente decrecientes, competir significa muy fácilmente llevar los precios a cero.

La competencia entre infraestructuras que prestan unos servicios difíciles de diferenciar, como es el caso de la capacidad a larga distancia, puede llevar al desastre a las operadoras de cables de larga distancia, cuando son muchas de éstas las que se crean y cuando no se cumplen las expectativas de demanda de capacidad bajo las que los cables se construyeron. En los últimos años se ha dado la circunstancia excepcional de haberse generado una oferta desmesurada de financiación en el mundo de las telecomunicaciones, que ha llevado a la construcción de más cables intercontinentales de los que son necesarios a corto plazo. La oferta de capacidad en determinadas regiones, por ejemplo Atlántico Norte, es hoy muy elevada, a la vez que la demanda se ha contraído o no ha respondido a las expectativas.

Históricamente las cosas fueron distintas. Los cables submarinos, inicialmente los telegráficos, y muy posteriormente los de telecomunicación, fueron abordados por la iniciativa privada. Algunos de ellos, como el primer cable transatlántico de telegrafía terminado de construir en 1866 (diez años antes de que Alexander Graham Bell inventara

el teléfono), tras una epopeya humana de más de trece años, constituyen un hito sin precedentes comparable, según algunos, al proyecto Apolo que puso un hombre en la Luna. El TAT-1, como se denominó a ese cable, y los siguientes hasta llegar al TAT-14, recientemente puesto en marcha, fueron explotados con éxito por sus constructores, que no se enfrentaron nunca a la existencia de competencia, salvo la que supuso a partir de 1920 la combinación de la tecnología de comunicación por radio inventada por Marconi, con la telefónica inventada por Bell. Al igual que no es fácil hoy crear otra NASA tampoco lo era en aquellos años construir un cable alternativo en el Atlántico. La magnitud del proyecto y su, para la época, elevadísima financiación eran ya una insuperable barrera de entrada para otros competidores.



**Fig. 4.5 Cables Submarinos Trasatlánticos**

**TABLA N°4.3 Capacidades de Trasmisión Actuales y Futuras**

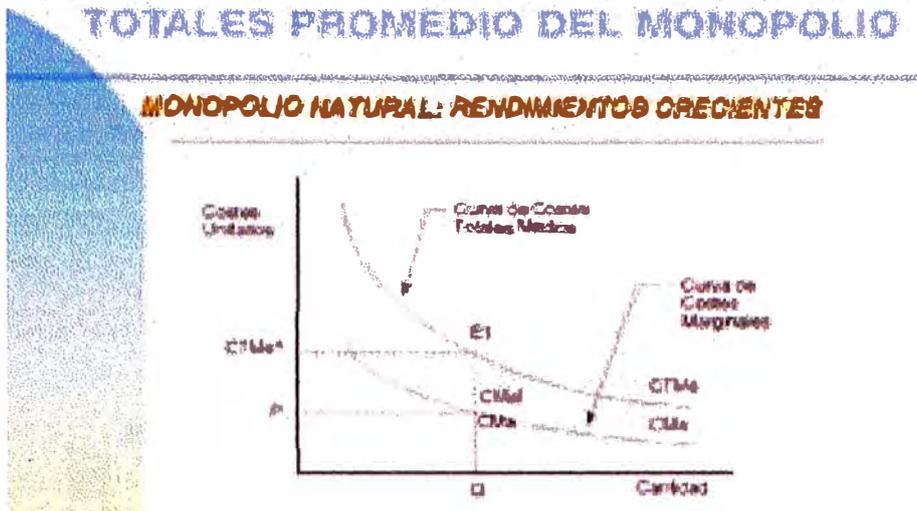
1 Kilobit/s	1.000	bits/s
1 Megabit/s	1.000.000	"
1 Gigabit/s	1.000.000.000	"
1 Terabit/s	1.000.000.000.000	"
1 Exabit/s	1.000.000.000.000.000	"
1 Petabit/s	1.000.000.000.000.000.000	"
1 Yottabit/s	1.000.000.000.000.000.000.000	"

#### 4.4. Inversión en los cables submarinos

Construir hoy un cable submarino intercontinental es relativamente fácil, como obra de infraestructura y como proyecto financiero. Los más de 28.000 km del cable FEA de FLAG Telecom requirieron una inversión de 1.500 millones de dólares y el más reciente y más avanzado FA-1, ha exigido unos 1.300 millones. Son inversiones importantes pero nada anormales para estos tiempos en los que se han creado grandes bolsas de capital por todos los rincones del mundo, hasta hace muy poco dispuestas para ser invertidas generosamente en negocios de telecomunicaciones. Precisamente, esa facilidad para la financiación de proyectos como la construcción de un cable submarino, una red terrestre completa o una red de telefonía móvil, además de la trivialización de la fabricación y el montaje de esas infraestructuras, que son fenómenos únicos de nuestra época, es lo que está haciendo que la competencia en los mercados de telecomunicaciones sea insoportable. En el Atlántico Norte, por ejemplo, existían hace dos o tres años unos 8 ó 10 cables tendidos entre Europa y Norteamérica en activo, además de otros 8 ó 9 ya retirados de uso. Entre estos últimos los primeros TAT, desde el TAT-1 al TAT-7.

Desde esa fecha, unos 5 cables nuevos han sido instalados en la zona, o están a punto de instalarse, elevando la capacidad de transmisión potencial disponible a más de 15 Terabits/s. De ellos, 4 son proyectos privados en manos de alguno de los carriers' carriers mencionados anteriormente y uno construido en forma de club. Todos ellos están compitiendo fuertemente unos con otros, bajando los precios de manera muy acelerada. La sobrecapacidad actual está previsto que desaparezca en unos tres o cuatro años, si la revolución de los servicios de banda ancha termina siendo una realidad e Internet se desarrolla como está previsto. No sería extraño que eso sea así y de hecho las empresas que sobrevivan pueden tener un futuro muy brillante, aunque de momento, algunas compañías de cables submarinos lo están pasando mal.

## CURVAS DE COSTES MARGINALES Y COSTES TOTALES PROMEDIO DEL MONOPOLIO



**Fig. 4.6. Curva de Coses marginales y totales**

Tal situación no se había dado en el mundo de los cables submarinos a través de la historia. De hecho, los cables submarinos anteriores a la época actual, han constituido, la mayoría de ellos, proyectos sólidos y rentables que han cumplido su ciclo de vida (entre 12 y 24 años) sin ningún problema y prestando el servicio para el que fueron construidos. La liberalización mundial de las telecomunicaciones y la euforia financiera bajo la que se ha producido está creando algunos problemas a corto plazo, pero los expertos más concienzudos indican que a medio plazo las aguas volverán a su cauce y las operadoras de cables submarinos tendrán éxito, y jugarán el papel destacado que les corresponde.

Aunque es un terreno muy específico del mundo de las telecomunicaciones, la historia de la construcción y explotación de cables submarinos, está hoy muy bien documentada y resulta de mucho interés, en sus dimensiones, tecnológica, económica y empresarial. Hay bibliografía abundante de entre la que cabe citar dos referencias notables: 1) From Elektron to "e" Commerce, 150 Years of Laying Submarine Cables. Publicación compilada y editada por Stewart Ash en 2001 bajo el patrocinio de Global Marine, BT, ALCATEL y Cable & Wireless y 2) El mundo es uno. Del telégrafo a los satélites. Libro debido a la magnífica pluma de Arthur C. Clarke, el afamado autor de 2001. Odisea del espacio.

De acuerdo con la primera de estas referencias, los 136 años de vida que van a cumplir pronto los cables submarinos transatlánticos (desde julio de 1866 hasta 2002), más los 14 ó 15 anteriores en los que se construyeron cables entre el Reino Unido y Francia a través Canal de la Mancha y en algunos otros puntos, se pueden dividir en cuatro grandes etapas.

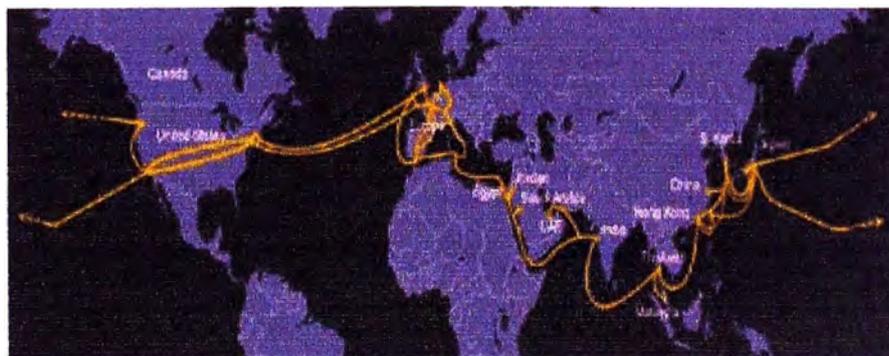
Es una historia llena de grandes proezas, en la que además se puede analizar con precisión la interrelación y el juego entre los avances tecnológicos, la iniciativa humana,

la capacidad emprendedora de determinados individuos y determinadas naciones, las componentes económicas y financieras, e, incluso, el poder político.

Todo empezó con un invento impresionante de la época moderna debido inicialmente a los ingleses y con cierto retraso, también a los americanos: el Telégrafo. William Fothergill Cooke, militar y hombre de negocios inglés y Charles Wheatstone, profesor del King's College de Londres, pasan por ser los inventores de este sistema de comunicación basado en la electricidad y, sobre todo, por ser los que instalaron la primera línea telegráfica. Hecho ocurrido en el otoño de 1837 en Inglaterra, al instalarse en la vía de ferrocarril entre las ciudades de Euston y Camden, la primera línea telegráfica experimental. Cooke además creó en 1843 su propio servicio de telégrafo destinado al público en general, el cual llegó a ser ya en 1845 un negocio brillante.

Wheatstone, como científico de primera magnitud que fue, participó en muchas aventuras tecnológicas de su época, casi todas relacionadas con la electricidad y el electromagnetismo, máximos avances tecnológicos del siglo XIX y primera parte del XX. En 1840 y 1841, cuando todavía colaboraba con Cooke, viajó a Bruselas y París para analizar y negociar la construcción de un cable submarino entre Inglaterra y Francia. Dicho cable terminó siendo una realidad el 28 de agosto de 1850, fecha que marca el comienzo de la actividad de los cables submarinos en Inglaterra y en el mundo.

En los diez años que se necesitaron para convertir en realidad el sueño de la comunicación a través del océano, hubo que resolver muchas cuestiones tecnológicas, tanto en cuanto a la transmisión de señales eléctricas a distancia, como en cuanto a la fabricación y tendido de los cables e, incluso, a la del diseño y construcción de los buques cableros necesarios. Así como vencer las múltiples dificultades de financiación, de constitución de empresas diversas y de su gestión, necesario todo para poner en marcha la nueva industria de la comunicación a distancia.



**Fig. 4.7. Sistema Submarino Mundial**

#### 4.5. Consideraciones Económicas

Los carriers' carriers, especialmente los que proporcionan conexiones intercontinentales, es decir, los operadores de cables submarinos, aportan a las telecomunicaciones elevados ancho de banda y larga distancia. La velocidad de transmisión, por otro lado, es la velocidad de la luz, la máxima posible hoy por hoy. Siendo, por otra parte, las telecomunicaciones globales por definición, y constituyendo hoy la fibra óptica un sistema de transmisión insustituible e inigualable, los cables submarinos son infraestructuras imprescindibles cuya importancia se verá cada día más acrecentada. Si tenemos en cuenta, además, que la tecnología de transmisión está elevando el ancho de banda o capacidad de transmisión a valores increíbles y que ello significa que no tiene sentido repetir dichas infraestructuras, sino compartirlas, las operadoras independientes de cables submarinos parecen la mejor solución para el conjunto del sector.

Dichas operadoras constituyen las verdaderas "autopistas de la información", de las que ahora se habla menos, pero que serán absolutamente imprescindibles para que Internet termine dando de sí todo el potencial que encierra, y la Sociedad de la Información y del Conocimiento dé paso a un nuevo mundo y a una nueva economía.

En relación con esta cuestión es importante tener en cuenta que una infraestructura unitaria y completa, como resulta ser un cable submarino intercontinental, tiene características típicas de monopolio natural. Sus costes medios totales y sus costes marginales son continuamente decrecientes, lo que tiene dos significados de muy distinto sentido, dependiendo de que haya demanda o no y de que haya competencia o no. Si hay demanda suficiente o no existe ninguna competencia, el rendimiento del negocio es alto y continuamente creciente hasta que la capacidad se agote. Si no existe demanda, o la competencia es masiva, como ocurre en la actualidad, los precios serán continuamente decrecientes hasta que las empresas no puedan continuar y cierren.



**Fig. 4.8 .Sistema de Red Submarino Asiático**

Como ejemplo concreto de esa dinámica de precios y costes, se pueden mencionar dos hechos recientes ocurridos en el mercado español. El primero tiene que ver con el descenso impresionante, y decididamente no bueno para nadie, de los precios de los circuitos internacionales. En abril de 1999, por ejemplo, cobraba Telefónica por un circuito de 2 Megabits/s, Madrid-Londres, la cantidad de 60.000 dólares mensuales. En esa fecha, dicho sea de paso, FLAG Telecom cobraba por la misma capacidad entre las estaciones costeras de Estepona y Porthcurno, en el Reino Unido, la cantidad de 60.000 pesetas mensuales. No disponiendo todavía de redes terrestres no podía, sin embargo, ofrecer un circuito punto a punto entre Madrid y Londres. Pero para la cuestión de precios que debatimos, lo importante es que los primeros circuitos internacionales del mismo tipo ofrecidos por primera vez en esa fecha por un nuevo carriers' carriers establecido en España, salieron al mercado nada menos que a 10.000 dólares mensuales. Lo mismo ocurrió con otros destinos en Europa.

Alguien se preguntará por el motivo de esa extraña política de precios y hay que decir que los que vivimos el fenómeno desde dentro nunca la hemos entendido del todo. Algunas pistas pueden indicarse a posteriori. La primera, que el precio de los circuitos internacionales, vendidos en principio a operadores internacionales no lo marcaba el mercado español sino el mercado internacional. En otras palabras, el circuito Madrid-Londres no se vendía en Madrid sino en Londres, y los mercados internacionales disfrutaban ya de mejores precios que el mercado español. La segunda es que en aquella época eran muy frecuentes las políticas agresivas de entrada en nuevos mercados, destinadas a quedarse rápidamente con un porcentaje alto de dicho mercado e impedir así que otros nuevos y posteriores entrantes lo tuvieran fácil. La tercera, por último, rebuscada, insólita y terriblemente peligrosa, como luego se ha visto, consistía en no llevar a los costes del producto las inversiones. O, lo que es lo mismo, sencillamente no amortizar. No se olvide a este respecto que la bolsa crecía exponencialmente y que muchas de las empresas emergentes estaban pensadas para salir rápidamente a bolsa y obtener unas plusvalías excepcionales. ¿ Para qué vamos a amortizar, decían, si esta empresa va a valer diez veces más que ahora en dos o tres años?. Argumento perfecto salvo que la bolsa comenzó a bajar de forma espectacular a primeros del 2000 y no ha dejado de hacerlo hasta ahora. La empresa en cuestión, que tan brillantes prácticas introdujo, como cabría esperar, hace tiempo que desapareció.

Ni que decir tiene que Telefónica difícilmente pudo vender un circuito internacional punto a punto a otros operadores a partir de esa fecha. Otra cosa distinta son los clientes finales, grandes bancos y otros usuarios, con los que dicha compañía ha mantenido unas

relaciones especiales y una estrategia de precios y servicios destinadas a no perderlos que le han dado muy buenos resultados.

Los precios, por terminar la historia, no se quedaron en los 10.000 dólares mencionados. Siguieron bajando y hoy, un E1, es decir, 2 Megabits/s de capacidad punto a punto entre Madrid y Londres, se vende por menos de 1.000 dólares mensuales.



**Fig. 4.9. Sistemas regeneradores de Señal Submarina**

El segundo hecho está teniendo lugar en la actualidad. Un operador español decide adquirir un STM4 (4x 1 STM1= 4x 155Megabits/s) entre Madrid y París. Se trata de un circuito importante y que como el mercado está bastante parado, despierta con rapidez la atención de todos. Resultado: más de 17 operadores están dispuestos a ofertar y partirse la boca por este pedido. Entre ellos hay de todas clases y colores, verdaderos operadores propietarios de redes, serios y sólidos, que cuidan la calidad y el servicio, operadores locales a los que les sobra capacidad internacional, propuestas increíbles de swapping, revendedores de capacidad establecidos como tales, oportunistas dispuestos a comprar y vender ad hoc, compradores y vendedores a ciegas, etc.

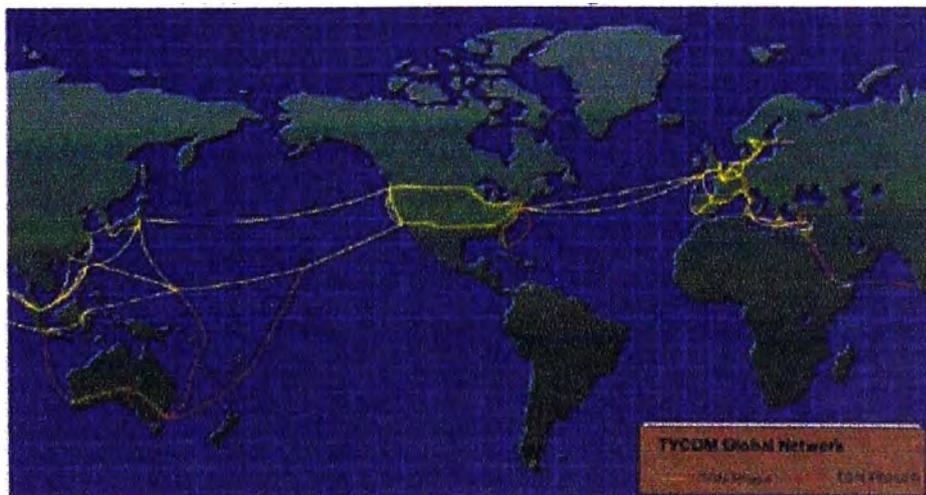
Del precio al que finalmente se cerrará la operación es mejor ni hablar. ¿Pero qué decir del servicio que se prestará al usuario final?. En el mejor de los casos, que no habrá garantías de que sea el adecuado. Las telecomunicaciones, como servicio público de gran importancia que es, se habían ido construyendo a través de los años basadas en la seguridad, altos estándares de calidad y, entre otras medidas, redundancia y múltiples alternativas destinadas a asegurar el servicio en todas las rutas. Todo esto, no es que se haya perdido, pero se ha debilitado enormemente. Las redes de telecomunicación y sobre todo los circuitos internacionales son hoy más precarios que en otras épocas, salvo si los suministradores son verdaderos operadores, siendo el usuario el que sufre las deficiencias.

Los mercados de las telecomunicaciones y las tecnologías de la información se encuentran hoy, según ciertos autores americanos, en una situación muy difícil a la que

denominan "hipercompetencia". Es una fase de evolución del sector complicada, y letal para muchas empresas, en la que es casi imposible competir con métodos tradicionales. Algunas de sus características son: la existencia de muchas más empresas de las que el mercado puede soportar, al menos a corto plazo; sobrecapacidad en todos los lugares a los que se mire; bajada continua de los precios de los productos; pocas posibilidades de diferenciación de los productos y servicios; contracción de la demanda de servicios de telecomunicación en general y muy baja demanda de los nuevos servicios en particular; incorrectas actuaciones reguladoras; fallos tecnológicos clamorosos; endeudamiento excesivo de las empresas; niveles increíblemente bajos del valor en bolsa de las compañías del sector y pérdida de interés de los inversionistas y de los bancos por las empresas de telecomunicación. Como consecuencia de todo ello, una generalización de las prácticas competitivas más perversas que transforman el mercado en un campo de batalla y la búsqueda de clientes en una caótica guerra de guerrillas en la que todo vale. Algo así como la vida animal en una charca africana y en sus alrededores cuando llega la sequía.

De esa situación se saldrá poco a poco y de acuerdo con lo que la teoría económica dice al respecto. Todo sector maduro, dice tal teoría, tiende al oligopolio. El excesivo número de empresas actual irá disminuyendo por diversos procedimientos. Unas desaparecerán, otras serán adquiridas y otras se fusionarán. Esa es la dinámica que se viene observando en las telecomunicaciones desde hace meses. Las operadoras de cables submarinos, como es lógico, se encuentran sometidas a ella.

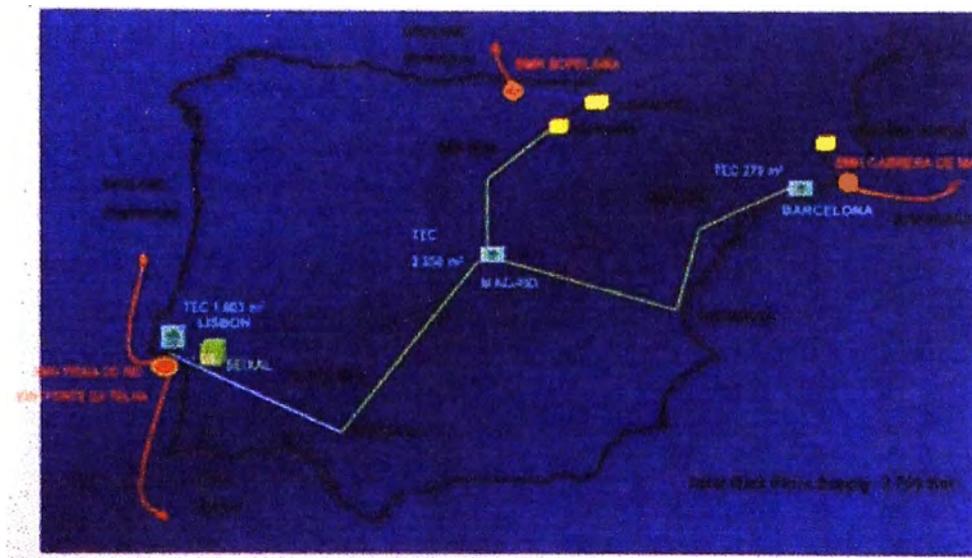
**Entonces surge la pregunta : ¿cómo triunfar en el mercado actual de comunicaciones por cable ?**



**Fig. 4.10. Sistema de Red Submarina de VSNL (Ex-Tycom) en Fase I (75000 Km)**

Después de décadas de crecimiento caracterizadas por una expansión a nivel mundial y continuos avances tanto en tecnología como en capacidad y un relativo equilibrio entre la oferta y la demanda, la industria de cable submarino se enfrenta a nuevos tiempos en los que superar grandes retos. El más importante cómo adaptarse a una demanda tan deprimida como la actual.

En los últimos años la llegada de nuevos inversores privados no relacionados con las tradicionales Operadoras Incumbente, la facilidad de acceso a financiación y la creciente expansión de Internet, dieron lugar a un aumento de la demanda sin precedentes.



**Fig. 4.11. Red Submarina TGN en la Península Ibérica**

En estos momentos, la demanda de banda ancha a nivel internacional, después de crecer año tras año, está excedida por la oferta. Aunque históricamente la oferta ha excedido siempre a la demanda, actualmente esta situación se ha visto agravada principalmente por el declive económico y las condiciones adversas dentro de la industria de las telecomunicaciones. De este modo, para las operadoras y carriers resulta muy complicado llevar a cabo proyectos de construcción de redes y obtener capital para hacerlo.

El mercado se mueve en un ambiente mundial de liberalización de precios, incremento en la competencia y avances tecnológicos que aseguran una continua bajada del precio de la banda ancha. Estos factores han causado cierta inquietud entre los protagonistas de esta industria, e inducen a una consolidación de las compañías más débiles y menos viables financieramente. Si hay algo a lo que agarrarse, es que este modelo cíclico de robusta actividad seguida de una desaceleración ya ha ocurrido otras veces, la última en 1996. Los fundamentos generales de las comunicaciones globales, validados por la

evidencia histórica, nos dicen que el mercado regresará al punto en que se encontraba. Eso sí, el consenso hoy día es que para que el mercado dé la vuelta una vez más, será necesario un nuevo modelo de negocio que posibilite y potencie dicha recuperación.

Las condiciones actuales hacen que las compañías existentes en este mercado enfoquen sus esfuerzos en buscar una estabilidad tanto financiera como operacional y tecnológica. Dicho de otra manera, los usuarios de esta industria buscan proveedores que ofrezcan una calidad total, no sólo en el sentido del producto que ofrecen sino que puedan seguir ofreciéndolo en el futuro tanto en prestaciones como en plazo. Para asegurar la continuidad de las operaciones y los más altos niveles de servicio, los clientes están buscando proveedores con antecedentes de buenos resultados y de estabilidad. Los proveedores que puedan adaptarse a un mercado dinámico y que puedan aplicar con efectividad los últimos avances tecnológicos, a la vez que sean capaces de mantener una posición de relativa solidez financiera, estarán posicionados para el éxito.

Tyco Telecommunications (anteriormente TyCom) es el nuevo nombre de una empresa pionera, con 45 años de historia en el mercado submarino de las telecomunicaciones. La compañía se formó originariamente a través de la unión entre la División de Sistemas Submarinos de AT&T, la fábrica de cables submarinos Simplex Technologies y Telecomunicaciones Marinas, S.A. (TEMASA), filial de buques cableros de Telefónica. Las tres compañías fueron adquiridas y fusionadas por Tyco International Ltd (NYSE – TYC; BSX – TYC; LSX – TYI), creando una compañía integrada verticalmente que diseña, desarrolla, fabrica, instala y mantiene redes submarinas de fibra óptica. Hoy en día, Tyco Telecommunications es en su totalidad una filial de Tyco International, grupo industrial de empresas de fabricación y servicios con ventas superiores a 36.000 millones de dólares y que ha tenido un excelente comportamiento financiero a lo largo de toda su historia.

Tyco Telecommunications ha construido muchas de las redes de comunicación submarina del mundo, incluyendo algunas con conexión en España y el Mediterráneo. De hecho el primer cable submarino de fibra óptica en el mundo OPTICAN fue tendido por Tyco Telecommunications. (entonces ATT-SSI). En las dos últimas décadas, cerca de 100 sistemas con un total de 350.000 kilómetros de comunicación submarina alrededor del mundo, han sido fabricados e instalados por Tyco. Parte de estos sistemas los mantiene la flota de buques cableros de la propia compañía, algunos de los cuales están ubicados en Vigo y Valencia. Hoy en día, Tyco Telecommunications se está adaptando a los cambios de la industria y puede ofrecer la tecnología punta que exige sus clientes unido a un sólido y consolidado proveedor.



**Fig. 4.12. Red de VSNL en Europa (Ex-Tycom)**

#### **4.6. Impacto de las Nuevas Tecnologías**

La industria de cables submarinos se ha beneficiado de los numerosos avances tecnológicos que han cambiado el modo en que se planifican y construyen las redes de cable. Lo que una vez fue el “punto a punto”, con conexiones con capacidad fija, sólo hace diez años, se ha transformado en redes multi-punto, con capacidad variable. Esto ha sido posible gracias a los avances tecnológicos, que además han incidido en el aumento de capacidad y en la reducción del coste por “bit”. Estos avances, y las consiguientes reducciones de costes, se han logrado por los siguientes factores:

La tecnología WDM permite un uso más efectivo del ancho de banda de la fibra. Esto ha resultado en un factor de mejora en el ancho de banda por par de fibra de 2.000 veces en los últimos diez años.

Los sistemas de ocho pares de fibras, utilizando componentes miniaturizados en los repetidores sumergidos, han mejorado el ancho de banda por sistema en unas 2 ó 3 veces, en los últimos diez años.

El standard 10-Gb/s ha permitido una mayor velocidad de transmisión, resultando una mejora en banda ancha de 20 veces por cada canal. Esta mejora en la capacidad ha cambiado por completo la planificación de la

planta sumergida y ha permitido que empresas como Tyco pudiesen planificar y construir redes mucho más rentables que satisfagan las demandas de banda ancha en cualquier parte del mundo.

Los Laboratorios de Tyco Telecommunications son y han sido el primer centro de investigación y desarrollo de red submarina en el mundo. Estos Laboratorios son pioneros en el desarrollo de las aplicaciones de dicha red, lo que beneficia a sus clientes.

#### **4.7 El Cambio de Proveedor a Carrier de Carriers**

Con el objeto de poder ofrecer a sus clientes una gama total de servicios, Tyco Telecommunications ha llevado a cabo una transición desde un mero fabricante y proveedor de redes submarinas, a realizar el papel de Carrier de Carriers con el desarrollo e implantación de la red Tyco Global Network (TGN). Este cambio en el modelo de negocio traerá consigo una mayor estabilidad y permitirá ofrecer un más amplio rango de productos y servicios. Éstos incluyen desde ancho de banda extremo a extremo (ciudad-ciudad) a varios niveles de circuitos STM, servicios de longitudes de onda, pares de fibra y sistemas completos. Además se ofrece colocación y espacio y servicios de centro de datos en las principales ciudades del mundo. Sin duda, la estabilidad de Tyco es un factor que influirá positivamente en muchas de las decisiones de los clientes.

A principios del segundo trimestre de 2002 , la red de Tyco tendrá conexión con Madrid y Lisboa, e incluirá conexiones ininterrumpidas a alta velocidad a más de 25 ciudades de Europa, Norte de América y Asia. Tyco Telecommunications, la única compañía que construye su propia red submarina y al mismo tiempo proveedora de capacidad, ofrece a sus clientes esta amplia gama de servicios, la tecnología punta de nuestra red junto con el apoyo de su propia flota de buques cableros.

## **CAPITULO V**

### **REDES ÓPTICAS METROPOLITANAS**

**En esta parte del informe se analizará la implicancia que tiene la introducción de la tecnología DWDM en el entorno de las redes metropolitanas.**

Hasta hace solo 15 años atrás, las redes ópticas metropolitanas tenían como función primordial el transportar circuitos para servicios de líneas privadas basados principalmente en sistemas de voz. Esto ha cambiado significativamente ya que en los últimos años se ha observado el crecimiento de sistemas para líneas de multi-servicio de voz y datos para las redes públicas y privadas.

Ahora las redes están basadas en la alta capacidad de transmisión, velocidad, alcance de conexión y enlace, capacidad de nodos y la topología física de la red.

Contamos con todo tipo de tecnología para redes ópticas:

- ATM
- WDM
- DWDM
- SHD/SONET
- OXC
- IP

#### **5.1. Redes ópticas metropolitanas basadas en tecnología DWDM**

La tecnología DWDM se está expandiendo progresivamente desde el núcleo de las redes ópticas de alta velocidad hacia las redes metropolitanas y de acceso. Y todo ello provocado por el éxito alcanzado por las soluciones DWDM de largo alcance que han permitido un aumento espectacular en la capacidad de las redes ópticas de transporte.

De hecho, se ha observado que la introducción de tecnología DWDM en las redes ópticas metropolitanas produce grandes beneficios en cuanto a coste, flexibilidad y eficiencia. Las primeras generaciones de sistemas DWDM dependían de subsistemas eléctricos que se encargaban de realizar funciones de conmutación, gestión de conexiones, protección y gestión de prestaciones. Sin embargo, se debe destacar las ventajas adicionales que conlleva la introducción de redes ópticas transparentes en el ámbito de las redes regionales y metropolitanas. Una red óptica transparente hace referencia a una red que mantiene el tráfico en el dominio óptico, es decir, sin ningún tipo de conversión OEO (óptica-eléctrica-óptica) en ninguno de sus nodos. Estas redes también se conocen habitualmente por el nombre de redes todo ópticas (all-optical networks), y sus elementos básicos son OADMs (optical add-drop multiplexers) y OXCs (optical cross-connects) que trabajan directamente sobre los canales ópticos sin realizar ningún tipo de conversión al dominio eléctrico.

La reducción en la cantidad de conversión OEO en una red óptica representa importantes ahorros de coste y de consumo de potencia, a la vez que se facilita una evolución más rápida hacia mayores velocidades. Así pues, el impulso por la migración hacia redes ópticas transparentes se basa fundamentalmente en consideraciones económicas, viéndose favorecido por la aparición de toda una serie de nuevas tecnologías de conmutación óptica.

## **5.2. Implantación de DWDM en las redes metropolitanas**

Anteriormente se han comentado las ventajas que conllevan las redes ópticas transparentes basadas en tecnología DWDM. A continuación analizaremos las implicaciones que tiene su implantación en el entorno de las redes metropolitanas, relegando las funcionalidades eléctricas a los extremos de la red. No obstante, se debe matizar antes que las conversiones OEO siguen siendo necesarias para realizar ciertas funcionalidades de red que de otro modo resultarían complejas, como por ejemplo la regeneración 3R (reamplification + reshaping + retiming) de las señales ópticas o la conversión de longitud de onda.

Precisamente para desplazar la funcionalidad eléctrica a los extremos de la red y al mismo tiempo minimizar la cantidad de conversiones OEO requeridas en el núcleo, los proveedores de servicio suelen emplear dos posibles esquemas: (a) arquitectura basada en "islas" geográficas de transparencia o (b) gestión inteligente del canal óptico extremo a extremo. La primera de las posibilidades consiste en crear islas o dominios de transparencia en el interior de la red donde no se requiere regeneración 3R debido a las

cortas distancias que recorren las señales ópticas. De este modo, los nodos situados en el interior de una de estas islas no será necesario que implementen conversión OEO. En cambio, las longitudes de onda transportadas entre dos de estas islas requerirán regeneración 3R y posiblemente conmutadores eléctricos o láseres sintonizables en el caso de realizar conversión de longitud de onda.

Otra posibilidad es que la conversión OEO se realiza basándose en el trayecto que sigue cada uno de los canales ópticos, los cuales se gestionan individualmente. La conversión OEO puede añadirse a los nodos según las necesidades, y las longitudes de onda pueden enrutarse por enlaces diferentes en función de sus limitaciones de transmisión. Las ventajas que proporciona este esquema a los proveedores de servicio son: minimización del número de transceptores desplegados, reducción del tamaño de los conmutadores eléctricos, en caso de ser necesarios, y gestión más flexible del crecimiento de la red.

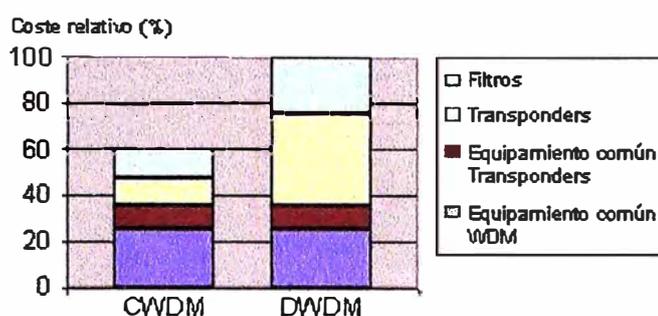
### **5.3. Análisis Económico de la Factibilidad de CWDM en Redes Metropolitanas**

Recientemente, el concepto de CWDM (coarse wavelength division multiplexing) ha comenzado a ser bien conocido en la industria de telecomunicaciones. Todo el mundo reconoce a CWDM como una alternativa de bajo coste que revolucionará el entorno metropolitano y de las redes de empresa. En este artículo analizaremos a qué se debe su gran potencial.

El enorme traspás sufrido por el mercado de telecomunicaciones ha provocado un cambio significativo en el enfoque de los fabricantes de dispositivos y sistemas de comunicaciones ópticas. En la actualidad los esfuerzos de los fabricantes se centran principalmente en el área de las redes metropolitanas, y más concretamente, en la búsqueda de soluciones que permitan abaratar costes. Diversos fabricantes de componentes e integradores de sistemas están desarrollando productos CWDM puesto que la industria reconoce la oportunidad de mercado para esta tecnología.

La tecnología CWDM es especialmente atractiva debido a su bajo coste. En comparación con DWDM, los sistemas CWDM proporcionan ahorros del orden de un 35% a 65%. Por ejemplo, en la **figura 5.1** se muestran los costes relativos de ambas tecnologías calculados para un sistema consistente en un anillo protegido de 16 canales, con un hub y cuatro nodos, cada uno de los cuales manejando 4 longitudes de onda. El ahorro proporcionado por CWDM (hasta un 40% en este caso) se debe a la reducción de costes de los láseres sin necesidad de control de temperatura y al menor precio de los multiplexores y demultiplexores pasivos. Básicamente, la mayor separación entre canales

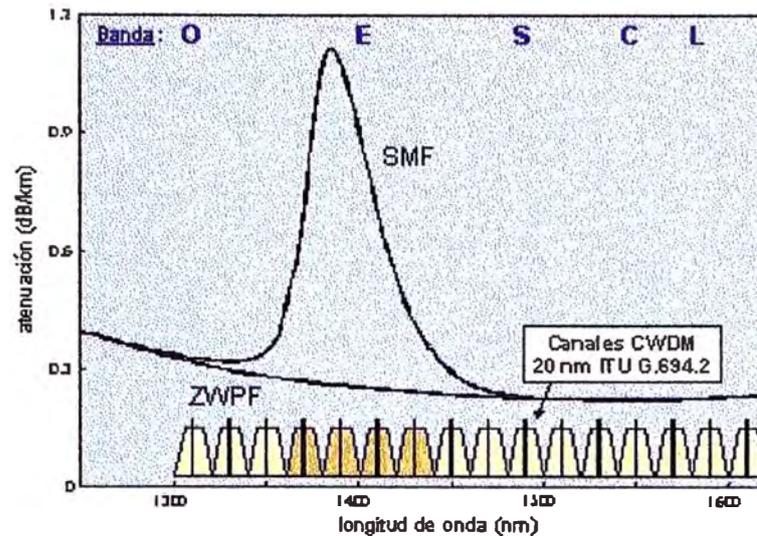
de los sistemas CWDM permite que las longitudes de onda de los láseres DFB puedan sufrir derivas con los cambios de temperatura, evitando de este modo la necesidad de emplear controladores de temperatura. Esto trae consigo un ahorro de espacio, simplifica el empaquetamiento del láser y reduce además el consumo de potencia (un valor medio de 0,5 W para un láser CWDM en comparación con más de 2 W para un transmisor láser DWDM conforme a la rejilla de la UIT).



**Fig. 5.1. Costes relativos CWDM vs DWDM.**

Al mismo tiempo, el diseño de los filtros de película delgada (thin-film filter, TFF) es más simple puesto que se necesita depositar menos capas en comparación con aquellos para DWDM, los cuales deben cumplir unos requisitos estrictos para las bandas de paso y de guarda. Adicionalmente, se produce también un ahorro de costes en el empaquetamiento de los TFFs como consecuencia de unos requisitos de alineamiento menos severos, lo cual permite una mayor automatización de los procesos de fabricación.

Recientemente, la norma UIT-T G.694.2 ha estandarizado una rejilla de longitudes de onda para CWDM con un espaciado entre canales de 20 nm. La elección de este valor no es algo accidental, sino que es el resultado de un minucioso estudio económico que asegura una reducción significativa en los costes de los transmisores y de los filtros ópticos, así como un número razonable de canales por fibra óptica. Sin embargo, como muestra la **figura 5.1** las fibras monomodo G.652 convencionales presentan una atenuación significativa de 1350 nm a 1450 nm debido al pico de absorción del agua. Las nuevas fibras G.652.C, por ejemplo la fibra AllWave, eliminan este pico de atenuación y conducen a un aumento de un 33% de capacidad extra. Considerando un espaciado entre canales de 20 nm, se pueden transmitir hasta 16 canales CWDM cubriendo la banda de 1310 nm a 1610 nm sobre una fibra ZWPF (zero water peak fiber). En cambio, una fibra SMF puede transportar 12 canales o incluso menos dependiendo de la posición e intensidad del pico de absorción. Por debajo de 1310 nm, no obstante, predominan las pérdidas causadas por dispersión de Rayleigh y no se puede transmitir en entornos metropolitanos, quedando su uso limitado al bucle de abonado o aplicaciones de corto alcance como aquellas definidas en IEEE 802.3ae.



**Fig. 5.2. Planificación de canales en sistemas CWDM.**

Existen diversos escenarios, además de las ya comentadas redes metropolitanas, donde CWDM constituye una opción atractiva. Por ejemplo, los sistemas de acceso de banda ancha sobre redes HFC requieren a menudo la transmisión de tráfico de retorno desde los nodos HFC hacia la cabecera situada a unos 75 km de distancia de éstos, siendo CWDM un candidato ideal para esta aplicación. El alcance de las transmisiones digitales banda base sobre CWDM es de hasta 75 km, si bien en el caso de retorno analógico se tiene un alcance más reducido debido a los requisitos de relación señal a ruido. La estandarización de esta aplicación está llevándola a cabo en USA la SCTE (Society of Cable Television Engineers). Los sistemas de acceso de bucle de abonado FTTC (fiber to the curb), FTTB (fiber to the building) o FTTH (fiber to the home), caracterizados por alcances de hasta 20 km, constituyen otro campo de aplicación donde CWDM puede ser beneficioso.

Pero además del requisito de acomodar un amplio margen de alcances del sistema, los proveedores de servicio deben ser capaces también de proporcionar múltiples servicios (voz, vídeo y datos) a los usuarios finales a distintas longitudes de onda usando una variedad de protocolos y tasas de bit: SONET/SDH, ATM, QAM, ESCON, FICON, DV-6000, OC-3 hasta OC-48, Gigabit Ethernet, etc. En este caso, CWDM se ajusta perfectamente a este paradigma, ya que ofrece ancho de banda escalable de una forma económica. Si en un futuro se necesitara aumentar la capacidad por encima de los 16 canales, entonces podrían colocarse varios canales DWDM en sustitución de uno o dos canales CWDM de la banda C. Esta técnica se conoce como DWDM-over-CWDM y permite hacer crecer el sistema de una forma flexible con un coste inicial reducido.

La mayoría de sistemas CWDM que ya se encuentran implantados en la actualidad transportan tráfico de almacenamiento (SAN, storage area networking) de las redes de

grandes empresas. Esta aplicación se encuentra en auge últimamente y los sistemas CWDM son un candidato ideal debido a su bajo coste, por lo que nadie se preocupa de desperdiciar un canal CWDM completo para transportar un flujo ESCON de 200 Mbit/s.

Los fabricantes de routers y conmutadores Ethernet están añadiendo capacidades CWDM en sus equipos por medio de GBICs (gigabit interface converters). Por ejemplo, Cisco Systems ha incorporado GBICs en siete de sus productos. De hecho, más de veinte vendedores de sistemas están ofreciendo soluciones CWDM en sus catálogos de productos. Según los analistas, el mercado mundial de sistemas CWDM durante el año pasado se situó en torno a los 100 millones de euros y se espera que en el futuro esta tecnología se convierta en un importante nicho de mercado. Para finalizar, en la tabla I se resumen a modo comparativo las características de las diferentes tecnologías WDM existentes.

**TABLA N°5.1. Comparativa entre Tecnologías WDM según el Tipo de Aplicación.**

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

## CONCLUSIONES

1.- En resumen, todas las 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 están produciendo últimamente en el campo de las redes ópticas de paquetes y desarrollos tales como GMPLS auguran un futuro muy distinto.

2.- El trabajo de tendido de cable submarino es bastante laborioso y algunas veces puede ser hasta un poco tedioso debido a lo repetitivo de la operación, pero al mismo tiempo el tedio es un indicador de que el trabajo se está realizando bien.

Cada operación que se realiza requiere de un sin número de detalles que tienen que ser trabajados con bastante cuidado pues una pequeña falla puede generar varios días de atraso, que significarían un fuerte incremento en los costos.

3.- Las mejoras tecnológicas se manifestarán de las siguientes maneras:

- Fibra mejorada que podrá soportar más potencia óptica bruta,  
Amplificadores mejorados que serán más potentes,
- Electrónica mejorada para mantener el rendimiento, pero con una relación señal-ruido inferior.
- Dentro de poco nos habremos acostumbrado a sistemas comerciales capaces de transportar 80 longitudes de onda a 10 Gbit/s en 300 Km. Si a esto unimos una capacidad de cable de 96 fp, puede que en el año 2006 los sistemas sin repetidor estén dando un servicio de 8 Tbit/s de capacidad total.

4.- El desarrollo de las nuevas tecnologías de transmisión óptica tanto para aplicaciones terrestres y submarinas con enlaces de muy larga distancia sin regeneración – cerca de 2000km – con 96 longitudes de onda), con una arquitectura extremadamente modular, han permitido:

- Soportar un coste de instalación inicial mínimo, con un método de pagar a medida que se crece.
- Beneficiarse de una solución de coste optimizado a carga completa de acuerdo con las necesidades de capacidad.
- Optimizar los costes para diversas configuraciones, desde regionales hasta de larga distancia y, próximamente, de muy larga distancia.
- Soportar la evolución de nuevas facilidades en esta arquitectura abierta, tales como soporte para 40 Gbit/s (actualmente), ROADMs (en breve), o mayor densidad de multiplexación (hasta 192 canales) más adelante.
- Soportar la evolución de sus prestaciones con la introducción de nuevos módulos de tecnología, siempre que sean económicamente interesantes y añadan valor a los clientes. Estos productos tienen una densidad optimizada (16 tributarios bidireccionales por nivel en terrestre), y características para reducción del OPEX para una fácil instalación y actualización del sistema, gracias a potentes rutinas de automatización que garantizan las prestaciones de cada servicio.

Los sistemas cumplen íntegramente con un conjunto completo de formatos de datos de cliente soportados (Ethernet, todos los estándares SAN, transmisión de video, etc.), y presentan funciones de agregación eficientes para un transporte económico. Los productos WDM terrestres y submarinos se gestionan utilizando soportan la jerarquía de transporte óptico G.709 para servicios de conectividad gestionados de extremo a extremo a lo largo de múltiples áreas y dominios: desde redes terrestres regionales hasta de larga distancia; y desde sistemas sin repetidores en canales marítimos hasta redes transoceánicas.

5.- La creciente demanda de servicios de banda ancha genera tráfico adicional en la redes ópticas, que se reflejarían en los sistemas WDM submarinos. En un futuro no muy distante, tales sistemas pasarán probablemente a velocidades de canal de 80 Gbit/s. En este artículo, los autores han resaltado algunas de las tecnologías que permitirían la introducción de 80 Gbit/s. La tecnología Raman puede traer algunos beneficios a las prestaciones del sistema, pero aunque estos beneficios merecen la pena el desarrollo del

asociado diseño de repetidor de ruptura aún es un asunto de debate. Ello ha mostrado que el resultado de este debate debería influir en la disposición de la fibra entre dos repetidores, y que el efecto PDM se debería contener. Sin embargo, adaptar el formato de modulación a los requisitos específicos de 80 Gbit/s es la dirección que nos llevará lo más cerca posible a la implementación real de sistemas de 80 Gbit/s. A este respecto, el formato APol-RZ-DPSK debe ser un candidato ya que es uno de los formatos más prometedores. Basado en estos elementos, Alcatel Research and Innovation ha demostrado, en una premier mundial, que 80 Gbit/s podrían transmitirse sobre distancias transatlánticas y transpacíficas con márgenes industriales.

## **ANEXO A**

## CABLES SUBMARINOS Y SU EVOLUCIÓN

El primer cable transatlántico fue tendido entre Irlanda y Newfoundland (Canadá) entre los años 1856-57, pasándose señales a través de éste el 16 de Agosto de 1857, pero el sistema dejó de operar un mes después debido a que trabajaba con voltajes demasiado altos para el aislamiento.

El primer cable exitoso fue tendido a través de la misma ruta entre los años 1865-66 y operó hasta 1877, tiempo en el cual otros cables habían sido tendidos. Uno de estos, fue tendido alrededor de 1870, desde Brest en Francia hasta Duxbury MA, por lo que se convirtió en el primer cable entre Europa y USA.

### TELEGRAFO

<b>1837</b>	Charles Wheatstone sustenta el "telégrafo eléctrico".
<b>1844</b>	Samuel Morse demuestra el "Código Morse", pero éste es una versión antigua, donde se asigna un número a cada posible palabra. Luego, Alfred Vail lo ayudó posteriormente con un "código de letra de longitud variable".
<b>1845</b>	La Compañía Telegráfica General Oceanic es fundada en New York City para enlazar Europa y Norte América.
<b>1847</b>	Es descubierta la cinta aislante "Gutta-percha" (un látex no elástico). Esto sirve como un aislador confiable en el agua, pero sin gran capacitancia.
<b>1849</b>	Entra en funcionamiento el cable telegráfico desde Inglaterra a Francia, falla luego de 8 días.
<b>1850</b>	Morse sustenta el telégrafo "clicking".
<b>1851</b>	Entra en funcionamiento el servicio telegráfico comercial Inglaterra-Francia. Este usa cinta aislante y continúa operativo.
<b>1858</b>	Agosto 18, primer mensaje telegráfico transatlántico vía cable. Cyrus Field (un negociante retirado de 35 años) y John Pender formaron una compañía inglesa, "The Atlantic Telegraph Co." El cable se deterioró rápidamente y falló luego de 3 semanas.
<b>1861</b>	Entra en servicio el primer cable telegráfico americano transcontinental.
<b>1868</b>	Se completa exitosamente el primer cable telegráfico transatlántico entre Reino Unido y Canadá, con una extensión de tierra a USA (falta de repetidores y capacitancia de cable en aislamiento restringe el cable a 2 palabras/minuto -

	velocidad de la señal era inversamente proporcional al cuadrado de la longitud, por predicción de Lord Kelvin's un mecanismo "siphon receiving" levantó la proporción a 20 palabras por minuto en 1870). Además Werner Siemens sustentó un teclado perforador para código Morse.
<b>1874</b>	Baudot inventa un esquema práctico de multiplexaje por división en el tiempo para telegrafía. Usó códigos de 5 bits y 6 timeslots - velocidad de 90 bps max. Tanto Western Union y Murray usan este esquema como la base de multiplexación de sistemas telegráficos.
<b>1875</b>	Se inventa la máquina de escribir.
<b>1880</b>	Un análisis de Oliver Heaviside muestra que la suma uniforme de inductancia dentro de un cable produce distorsión en la transmisión (esto fue más de 40 años antes de que los laboratorios Bell idearan un método práctico de producir inductancia uniforme - espiral "permalloy" de cinta magnética entrelazada alrededor de un conductor. Esto permitiría 400 palabras por minuto en el cable New York-Azores Western Union en 1925).
<b>1901</b>	Donald Murray enlaza la máquina de escribir al sistema de multiplexaje de alta velocidad, usado después por Western Union.
<b>TELEFONO</b>	
<b>1876</b>	Bell sustenta el teléfono.
<b>1877</b>	Bell ensaya el uso del teléfono sobre el cable telegráfico Atlántico. La prueba falla.
<b>1883</b>	Se realiza la prueba de llamadas sobre un cable sumergido de cinco millas.
<b>1884</b>	Comienza el servicio telefónico en el cable de cinta aislante San Francisco-Oakland.
<b>1910</b>	El cable Chesapeake Bay es el primero en usar cubiertas espirales (inductor) bajo el agua. Contiene 17 pares de 13 conductores.
<b>1915</b>	Entra en funcionamiento el servicio telefónico USA transcontinental (New York-San Francisco). Usa 2500 toneladas de cobre sobre 180 000 postes, con cubiertas espirales cada 8 millas. Tres repetidores de tubo de vacío fueron usados inicialmente y por 1918 se incrementó a 8 repetidores. En 1920, todas las cubiertas fueron removidas y se instalaron 12 repetidores mejorados. Se consiguió el doble de ancho de banda (a 3 kHz), reduciendo a la mitad la pérdida e incrementando 3.5 veces la velocidad de propagación. La reducción del eco fue obvia. Una llamada de 3 minutos costaba \$20.70.

<b>1921</b>	El cable Key West (Florida)-Havana (Cuba) inicia su servicio, usando cubierta continua vía envoltura de "permalloy", una mezcla de caucho y cinta aislante.
<b>1928</b>	El diseño de un cable continuamente cargado Newfoundland (Canadá)-Irlanda se inicia como un proyecto conjunto de AT&T-Oficina Postal Británica. La pérdida planificada fue de 165 dB sobre 1800 millas. Usó 4 capas de cinta Perminvar por cubierta. Su fabricación en Alemania comenzó en 1930. La depresión causó que se abandonen todos los trabajos. Al final de 1930, se sumergió repetidores y la multiplexación prometió más circuitos al mismo costo.
<b>1947</b>	El polietileno reemplaza al caucho y cinta aislante como aislador preferido.
<b>1949</b>	El cable submarino "SB" desarrollado por AT&T, usando polietileno + 5% de dieléctrico caucho butil . El cable fue hecho de un núcleo de varias docenas de alambres de acero, cubierto por un tubo de cobre; luego con 2 pulgadas de dieléctrico y otro tubo de cobre, cubierto por una cubierta de plástico y armadura.
<b>1950</b>	El cable submarino SB con repetidores se usó en la ruta Key West (Florida)-Havana (Cuba).
<b>1952</b>	La sociedad AT&T-BPO acuerdan en el laboratorio Dollis Hill comenzar un proyecto de cable trasatlántico.
<b>1953</b>	Canadá (Corporación de Telecomunicaciones de Ultramar Canadiense) se asocia con la Compañía Telefónica y Telegráfica del Este (subsidiaria de AT&T en Canadá) para realizar proyectos.
<b>1955</b>	28 de Junio, HMTS "Monarch" (barco cablero) sale de Clarendville (Newfoundland) tendiendo cable. Después del tiempo huracanado, este alcanza el Firth of Lorne en Oban, Escocia el 26 de Setiembre.
<b>1956</b>	4 Junio, "Monarch" sale de Oban para tender el otro cable (estos son repetidores uni-direccionales). El empalme final en Clarendville, 14 de Agosto. Todos los enlaces y canales fueron probados dentro de las seis semanas. Un total de 102 repetidores se necesitaron en los cables principales. Las conexiones finales en Norte América:
	USA (29 circuitos de 35 originalmente disponibles)
	White Plains, New York (vía cable coaxial L1) a Albania, New York o West Haven, Connecticut.
	Albania/West Haven (vía portadora K) a Portland, Maine
	Portland (vía microondas TD-2) a Minas Sydney, Nova Soofia
	Minas Sydney (vía cable submarino BPO) a Clarendville.

Canadá (6 circuitos)	
	Montreal (vía portadora en cable y cable abierto) a San Juan, New Brunswick
	San Juan (vía microondas TD-2) a Minas Sydney.
<b>1956</b>	25 Set. 11 am Este, Chairman Craig de AT&T llama al Dr. Charles Hill, Administrador General de Correos de su Majestad. Esto inicia el primer servicio telefónico trasatlántico de larga distancia, usando el cable TAT-1. En 1966, después de diez años de servicio, los 1608 tubos en los repetidores no han sufrido una falla simple. En efecto, más de diez millones de horas de funcionamiento sobre todos los repetidores AT&T de ultramar estuvieron sin falla.
<b>1963</b>	Primer cable desde New Jersey a Inglaterra.
<b>1965</b>	Primer cable desde New Jersey a Francia.
<b>RADIOTELEFONO (Competencia del cable)</b>	
<b>1920</b>	El servicio telefónico de la Isla Catalina (California) a tierra firme es vía sistema de radio. Fue reemplazado por cable en 1923, de esta manera las frecuencias pudieron usarse para estaciones de radio.
	Por 6 semanas, un sistema "privado" fue probado, usando bandas invertidas y un portador "wobbling". Luego, los sistemas usaron 4 o 5 "bandas" re-ordenados antes de la transmisión. Algunas bandas fueron invertidas. El arreglo de banda fue cambiado pocas veces por minuto, para la sincronización.
<b>1921</b>	La compañía Británica Marconi ofrece llamadas de 3 Mhz entre Inglaterra y Noruega.
<b>1923</b>	Radio aficionado demuestra que el radio de alta frecuencia puede alcanzar grandes distancias (algunas veces). La transmisión trasatlántica lo demostró.
<b>1927</b>	Entra a funcionar el primer servicio telefónico trasatlántico comercial de radio.
	Este usa radio de baja frecuencia desde RCA's Rocky Point, Long Island y Rugby (transmisores ingleses). Los receptores estaban en Houlton, Maine y Cupar en Escocia. El ancho de banda de 2800 Hz fue modulado para una portadora de 33 kHz y 92 kHz, con la banda menor cerca de 60 kHz. Tres tubos de 250 W en paralelo amplificaban esto y alimentaban 2 sistemas de enfriamiento por agua, luego se amplió hasta 35 tubos, produciendo 150-200 kW. Bajas frecuencias fueron considerados mas "confiables". Radio HF tuvo 30

	dB de pérdida en periodos largos entre Deal, New Jersey y New Southgate, Inglaterra, durante interferencia magnéticas. En esos días, el radio LF actualmente ganó un par de dB (Una llamada de 3 minutos costaba \$75).
<b>1929</b>	Empieza el servicio trasatlántico comercial de radio HF (2 circuitos). Los transmisores están en Lawrencille, New Jersey y Rugby, Inglaterra; los receptores en Netcong, New Jersey y Baldock, Hertfordshire (Inglaterra). Las llamadas usadas con algún sistema de radio estuvieron trabajando "mejor" en ese momento. Por 1931, el HF fue escogido el 80% del tiempo.
<b>1930</b>	El servicio de radio HF empieza en Buenos Aires.
<b>1931</b>	El radio Dixon/Point Reyes, California inicia su servicio transpacífico.
<b>1932</b>	En las localidades de Florida se inicia el servicio Caribe & América Central.
<b>1937</b>	USA puede llamar a 68 países vía radio HF. El 93% de los teléfonos del mundo están interconectados vía cable y microondas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Miguel Angel De La Sota Cerviño, “Acerca de las redes submarinas de fibra óptica”, Boletín electrónico info@citel Número 12 – Junio, 2005
2. Pablo de la Cruz, “450 mil kilómetros de fibra óptica bajo el mar”, Universidad Nacional Autónoma de México / Publicación Enter@te, Marzo , 2003
3. Jesús Felipe Lobo Goyo, Wsewold Warzansky García, “Redes de transmisión todo ópticas: independencia frente a las redes de transporte”, Publicación Telefónica Investigación y Desarrollo / Número 23 – Noviembre, 2001
4. Prof. Dr. Francisco ramos Pascual, “Redes Ópticas basadas en CWDM” revista ELECTRÓNICA & COMUNICACIONES / Número 178 – Octubre, 2005
5. Ing. Martín Pereda, José Antonio, “Sistemas y Redes Ópticas de Comunicaciones”, Editorial: Prentice Hall – Junio, 2004
6. Prof. Dr. Francisco ramos Pascual, “ Actualidad y futuro de las Redes Ópticas”, revista CONECTRÓNICA / Número 62 – Enero, 2005
7. International Engineering Consortium, “Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)”, Tutorial : Optical Technologies and Networks, Enero, 2005
8. Bala Rajagolapan/Tellium, Inc., James Luciani\_/Crescent Networks, “IP sobre Redes Ópticas: Un marco”, Internet Draft de la internet Engineering Task force (IETF) ,Octubre, 2003
9. José Luis Iglesias Martínez, responsable de Proyectos de Provisión de Servicios – Albura, “ Evolución de los servicios y las redes de transporte de las operadoras”, publicación RedIRIS, boletín 66-67, Enero, 2004

10. José Roberto Santamaría Sandoval, "Sistemas de Multiplexación CWDM: actualidad, ventajas y desventajas frente a otros sistemas de multiplexación y tendencias", Universidad de Costa Rica , facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Agosto, 2004

11. Dr. Saúl Hahn, COMMITTEE FOR INTERCONTINENTALRESEARCH NETWORKING\_CIRN \_ " Annual Meeting", Stockholm, 8-9 June 2001