

## Introducción

La aplicación de las Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC) en Cuba requiere redes de transporte que proporcionen gran ancho de banda y grandes capacidades de transmisión, así como redes de transporte que garanticen el flujo de toda la información, generada por los usuarios, a cualquier parte del territorio nacional con una óptima calidad.

ETECSA tiene la necesidad de reestructurar la red de transmisión por capas debido a la implementación de tecnologías NG-SDH. Esta reestructuración se realizará implementando una capa de acceso, encargada de la conexión de los servicios a los clientes y una capa de transporte, encargada de la interconexión a altas velocidades de los nodos existentes de las diferentes redes utilizando ASON y DWDM y los nodos P de la red IP/MPLS.

Una red de transporte transfiere la información de los usuarios desde una ubicación a otra de forma unidireccional o bidireccional. Una red de transporte puede también transferir diversas

# Sistema de transmisión Pinar del Río-Isla de la Juventud



clases de información de control de red, tales como la señalización e información de operaciones y mantenimiento para el control del grupo funcional [1].

La instalación de un cable de fibra óptica submarino por la plataforma insular que vincule a la Isla de la Juventud con el territorio nacional logra la implementación de un sistema de transmisión a nivel de red de transporte lo que posibilita la comunicación del municipio especial con cualquier parte del país, mediante el Sistema de Transmisión Nacional de ETECSA.

### Características generales de una red óptica submarina

Un sistema de cable submarino debe tener una larga vida útil y garantizar una elevada fiabilidad [2]. Ello se debe, principalmente, a la dificultad de acceso a la planta sumergida, al tiempo y el costo que implican la construcción y el mantenimiento de un enlace; además, la mayoría de los enlaces submarinos tienen una importancia estratégica en la red de transmisión y su interrupción provoca pérdidas muy significativas de tráfico e ingresos.

El diseño de un sistema submarino de fibra óptica tiene como propósito brindar servicios con una calidad óptima. Para lograr esto es necesario que la señal que se transmite llegue a su destino con las menores pérdidas posibles. Un enlace submarino de fibra óptica está compuesto por dos grandes partes: la parte seca en tierra y la parte húmeda bajo el mar.

En la parte seca, se encuentran los componentes que permiten transmitir, recibir y controlar las comunicaciones que se envían a través de los segmentos de enlaces submarinos [3].

La parte húmeda está formada por los elementos que se encuentran bajo el mar, 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 (Figura 1).

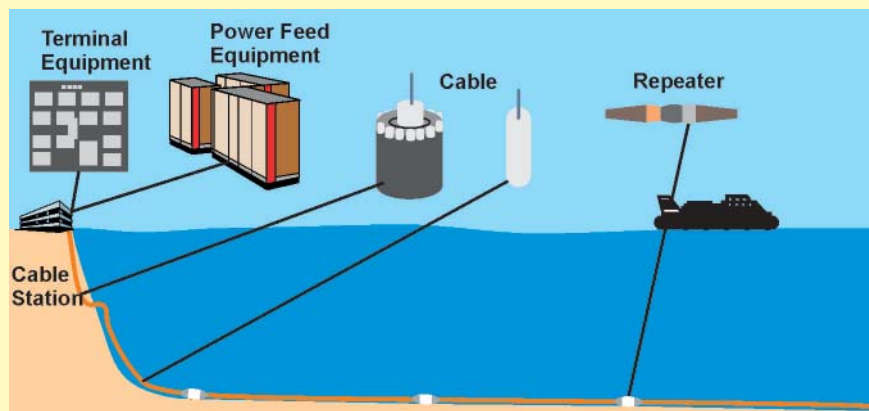


Figura 1 Elementos de una red submarina de telecomunicaciones (Fuente: [3]).

Asimismo, el sistema de cable submarino de fibra óptica, en su conjunto, está integrado por el equipo terminal: equipo terminal de transmisión, equipo de alimentación de energía, controlador de mantenimiento, etc. y por el equipo sumergible: cable, repetidor(es), unidad(es) de derivación, etc. [4].

Referente a los cables, los fabricantes de esta tecnología, tales como Alcatel, Pirelli, Nexans, Draka, entre otros, han desarrollado un rango completo para

los sistemas repetidores y no repetidores, cuyas protecciones varían en función de la profundidad a la que se encuentre el cable, por lo que a menor profundidad mayor cantidad de protecciones.

El amplificador OLA es utilizado para regenerar la señal degradada por encontrarse a una distancia límite permisible para volver a transmitirla.

La unidad de derivación (BU) es utilizada para realizar las derivaciones deseadas. En estas unidades se pueden lograr las conexiones tanto en el dominio óptico como en el dominio eléctrico.

En función de la distancia que tenga el enlace, un sistema se puede clasificar en: sistema con repetidor y sistema sin repetidor.

#### Sistema submarino con repetidor

Estos sistemas son convenientes para aplicaciones de pequeña, mediana y larga distancia —entre los 300 km y 450 km, dependiendo de la configuración— en distancias transoceánicas y en profundidades hasta 8000 m.

La interfaz entre el sistema submarino y la red terrestre —multiplexores SDH— puede ser a nivel STM-16 (2.5 Gbps), o a nivel STM-64 (10 Gbps). Esto se puede realizar cumpliendo las recomendaciones G.972 y G.691 de la UIT-T en ambos casos [5-6].

#### Sistema submarino sin repetidor

Las redes submarinas sin repetidor podrán ser utilizadas en diferentes aplicaciones en la orilla costera y en los anillos de las islas, para cerrar un anillo transoceánico o como parte complementaria del mismo, o para cruzar secciones submarinas en redes terrestres.

Por definición, los sistemas sin repetidor no precisan de repetidores y por tanto no necesitan ni equipo alimentador de energía ni componentes activos sumergidos, ofreciendo soluciones rentables que compiten con las microondas, los cables terrestres y alternativas de satélite [7].

La interfaz entre el sistema submarino y la red terrestre cumple los mismos requisitos que el sistema submarino con repetidor.

## Diseño de la red óptica submarina Pinar del Río – Isla de la Juventud

Antes de tender el cable, se hace un reconocimiento para elegir la ruta y los medios de protección del cable —protección ligera, blindaje, cable enterrado— [2]. Reconocer la ruta consiste en estudiar la topografía submarina, la temperatura del fondo del mar y las variaciones estacionales, la morfología y la naturaleza de los fondos, la posición de cables y tuberías existentes, el historial de fallos del cable, las actividades de pesca y minería, las corrientes marinas, la actividad sísmica, la legislación, entre otros.

Para realizar el diseño del enlace Pinar del Río – Isla de la Juventud se obtuvieron características hidrometeorológicas significativas según los datos de un estudio realizado en esta zona por Geocuba Estudios Marinos, el cual arrojó los siguientes resultados:

- ♦ La zona de tendido del cable cruza por el oeste del Golfo de Batabanó, con profundidades que varían paulatinamente entre un metro, en las zonas de atraque, y 11,1 m en lugares más profundos, para una profundidad promedio de 6 m.
- ♦ El lecho marino en su gran mayoría está compuesto por arena limosa, aunque existen lugares en los cuales el fondo es de arcilla, roca y arena gruesa.
- ♦ De acuerdo con las características hidrometeorológicas —clima, temperatura, oleaje, viento, mareas y corrientes—, la ejecución de este trabajo se debe realizar en los meses de mayo a septiembre, ya que este es el periodo de tiempo, a pesar de estar enmarcado dentro de la temporada ciclónica, donde estadísticamente hay menor afectación por los fenómenos hidrometeorológicos, incluyendo las tormentas tropicales.

Por su parte, el proyecto técnico indica a qué profundidad se realiza el enterramiento del cable en el lecho marino y define la ubicación del registro de playa en cada extremo así como los tipos de empalmes a emplear. Además, tiene en cuenta la selección del buque cablero para el tendido y los juegos de cartas náuticas correspondientes.

En el caso del enlace Pinar del Río –Isla de la Juventud, considerando que la longitud del trazado propuesto de la parte húmeda es de aproximadamente 85268 m, el cable a instalar es de 12 FO para el enlace subacuático, con una longitud de bobina de 8.0 km.

La caja de empalme en el enlace subacuático es del tipo XOK 6312. Esta caja está diseñada para empalmar hasta 48 fibras y es muy utilizada en el empate de cables ligeros.

A partir de los estudios hidrometeorológicos, batimétricos, geólogo-geofísicos y ambientales, así como las disponibilidades tecnológicas, el proyecto ha dividido la traza en tres zonas de trabajo con diferentes soluciones:

- ♦ Zona de atraque o arranque.
- ♦ Zona profunda del fondo con sedimentos sueltos.
- ♦ Zona profunda de fondo rocoso.

Con el objetivo de efectuar una ejecución óptima en el tendido y empalme del cable submarino, es necesario elaborar una metodología para cada zona, donde se especifiquen las actividades a realizar y el personal encargado del cumplimiento de esas tareas.

Del mismo modo, una vez instalado el cable, se determinan las medidas de protección para las tres zonas a fin de asegurar la mínima cantidad de interrupciones y, por consiguiente, una larga vida útil. Las soluciones para garantizar la protección del cable según la zona de trabajo se muestran en la tabla 1.

Zona	Solución
Atraque o Arranque	Tuneleo
Fondo con sedimentos sueltos	Empleo de arado (zanjadora Jetting)
Fondo con sedimentos rocosos	Tendido simple con anclaje

Tabla 1 Soluciones para garantizar la protección del cable según las zonas del proyecto (Fuente: elaboración propia).

Todas estas zonas implican cambios de tecnología por lo que cada una constituye en sí misma un frente de trabajo.

La **zona de atraque** es el punto más vulnerable ya que posee menos profundidad; en consecuencia, el cable requiere mayor protección. El tuneleo se realiza desde el registro de playa hacia el mar, instalando un bitubo de Ø 40 mm de diámetro (figura 5).



Figura 2 Tunelera a emplear en los atraques (Fuente: archivo del autor).

La protección del cable en los **fondos con sedimentos sueltos** se realiza con el empleo de una zanjadora como la que se representa en la figura 3.



Figura 3 Máquina a emplear para el enterramiento del cable (Fuente: [3]).

Básicamente, este equipo es una máquina de aire o agua que funciona a muy alta presión acompañado de un compresor instalado en la cubierta del barco. A medida que va levantando la arena y pequeñas rocas formando un surco, se va depositando el cable en el lecho. Ese mismo material en suspensión se vuelve a depositar sobre el cable ya situado, enterrándolo completamente.

En los **fondos rocosos**, la solución consiste en la utilización de anclajes

mecánicos introducidos en las rocas con la ayuda de un taladro submarino. De este modo, el cable queda fijado a un angular con bridas plásticas (Figura 4).

El diseño del sistema tiene que garantizar que el mismo opere a una velocidad que satisfaga el ancho de banda disponible tanto para un sistema analógico

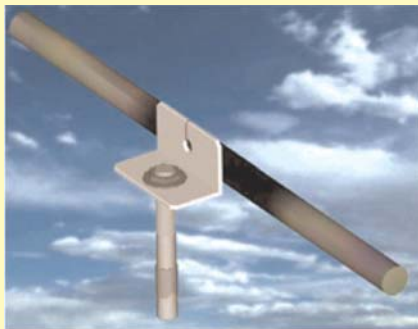


Figura 4 Protección del cable en el fondo rocoso (Fuente: elaboración propia).

como para uno digital. Además, la señal que llega al receptor debe tener el nivel mínimo adecuado para asegurar que la señal recuperada sea exactamente la misma que la emitida en el transmisor.

Para lograr el cumplimiento de estos requisitos, el cálculo del sistema se apoya en el análisis de la atenuación del enlace a partir del balance de las potencias (balance energético).

Teniendo en cuenta todos los factores que pueden causar atenuación en el enlace, la atenuación total máxima permisible se puede determinar así:

$$A_T = A_{i_o} + A_e + P_j + M_s \text{ [dB]} \quad (1)$$

Siendo  $A_{i_o}$  la atenuación provocada por la fibra óptica y se calcula de la siguiente forma:

$$A_{i_o} = (\alpha_{i_o} + \alpha_{env.fo})L \text{ [dB]} \quad (2)$$

Donde  $\alpha_{i_o}$  es el coeficiente de atenuación de la fibra (dB/km.) y  $\alpha_{env.fo}$  es el coeficiente de atenuación por envejecimiento de la fibra = 0.05 dB/km y L es la longitud del enlace en km. En este enlace  $\alpha_{env.fo}$  no se tiene en cuenta pues es un valor despreciable.

La atenuación introducida por los empalmes (Ae) se calcula:

$$A_e = \alpha_e (N_{el} + N_{odf} + N_{eph})L \text{ [dB]} \quad (3)$$

Donde  $\alpha_e$  es la atenuación en los empalmes siendo para la norma de ETECSA  $\alpha_e = 0,1$ .  $N_{el}$  es el número de empalmes de línea,  $N_{odf}$  es el número de empalmes en los ODF y  $N_{eph}$  es el número de empalme *pot-heat*.

La atenuación en los conectores y acopladores ( $A_c$ ) se define multiplicando el número de conectores por la atenuación de ellos:

$$A_c = N_c \alpha_c \quad (4)$$

$N_c$  es el número de conectores y  $\alpha_c$  son las pérdidas en los mismos. Para el cálculo se debe tomar el valor más crítico de atenuación; en la norma de ETECSA  $\alpha_c = 0,7$ .

La pérdida de inserción ( $P_i$ ) es el valor tomado cuando se inserta el conector a la tarjeta. El valor es de 1 dB.

El margen de seguridad ( $M_s$ ) permite garantizar el enlace por atenuación cuando ésta aumenta por los empalmes de mantenimiento y degradaciones de los conectores. Un valor apropiado es 3 dB.

Otro cálculo importante a realizar es el margen de potencia ( $P_m$ ), es decir, la diferencia entre la potencia disponible (en dBm) a la entrada de la fibra en emisión y la sensibilidad del receptor (en dBm), para una tasa de error de bits requerida y (en dB). De forma general, se puede expresar:

$$P_m = P_t - P_r \geq A_T \quad (5)$$

Donde:  $P_m$  es el margen de potencia en dB,  $P_t$  es la potencia de salida del transmisor en dBm y  $P_r$  es la sensibilidad del receptor en dBm.  $A_T$  es la atenuación total máxima permisible del enlace en dB.

### Implementación de la red óptica submarina

La instalación del cable submarino entre Pinar del Río y la Isla de la Juventud es un trabajo conjunto entre el MINFAR y ETECSA, donde cada entidad aportó los recursos necesarios en función de las actividades.

La correcta instalación del cable submarino requiere de los siguientes medios: una grúa, un portabobina, una cabina de empalme, un grupo eléctrico, cassetes para el alojamiento de

las bobinas y una canal. Todos estos equipos están distribuidos en el barco Saturno de forma tal que no afecta la estructura de la embarcación ni el tránsito por la cubierta del personal a bordo. Esto permite que las labores de tendido y empalme se realicen sin riesgo de accidentes (Figura 5).



Figura 5 Distribución de equipos en el barco Saturno (Fuente: archivo del autor).

El tiempo previsto para el tendido es de 10 días y sobre la base de la experiencia de las primeras jornadas se puede estimar la duración de las labores de protección con el arado. No obstante, el tiempo de sembrado con arado comprende 125 días de trabajo, lo que equivale a 600 m diarios; mientras que para el anclaje y la protección en la roca se necesitan 10 días, a razón de 1 km diario.

El sistema marítimo está compuesto por varios buques, entre los que se encuentran un remolcador para el tendido del cable en los atraques y el barco Saturno encargado de realizar el resto de la instalación y todos los empalmes.

Las medidas de seguridad previstas disponen que los buzos tengan una adecuada iluminación, comunicación y video, así como abastecimiento de oxígeno y demás normas a cumplir. Igualmente, se cuentan con todos los medios sanitarios necesarios para la atención primaria en caso de accidentes y con un helicóptero para la evacuación del personal de la zona de trabajo en caso de emergencia.

### Ventajas económicas

Según las diferentes ofertas financieras para la ejecución de este tipo de

trabajo, el alquiler de un barco oscila a un costo diario de \$100 000 USD. Para garantizar esta inversión, eso significaría un costo total de \$14,5 millones de USD por la contratación de un barco cablero para el tendido y la protección del cable. Por su parte, los gastos por concepto de trámites legales, proyecto técnico, compra del cable, equipos y accesorios implicaría destinar otro presupuesto que sufrague estas actividades. Por consiguiente, la inversión tendría un valor aproximado de \$ 3,1 millones de USD, considerando todas las actividades involucradas en esta tarea.

Teniendo en cuenta estos elementos se puede afirmar que la instalación del cable de fibra óptica submarino entre Pinar del Río y la Isla de la Juventud, con el empleo de los recursos existentes en el país y la compra puntual de aquellos materiales o recursos imprescindibles, representa un ahorro de más de \$11 millones de USD.

## Conclusiones

En la confección de un proyecto ejecutivo para el tendido y empalme del cable de fibra óptica se deben tener en cuenta una serie de aspectos de vital importancia para la protección del mismo una vez que se encuentre instalado, con el objetivo de evitar daños o interrupciones.

La instalación de un enlace a nivel de la capa de transporte entre la Isla de la Juventud y el territorio nacional mediante la instalación de un cable de fibra óptica submarino constituye una solución viable de comunicación, no sólo por la posición geográfica de esa provincia sino también porque cumple con los requerimientos de velocidad de transmisión y ancho de banda necesarios para este tipo de conexión.

De igual forma, la implementación de esta tecnología con un alto porcentaje de recursos disponibles en el país garantiza un ahorro significativo en términos económicos e impone nuevos retos en el proceso de ejecución que contribuyen a desarrollar el conocimiento y la experiencia de nuestros especialistas. ▀

## Referencias bibliográficas

- [1] UIT-T Recomendación G.805-Arquitectura funcional genérica de las redes de transporte. Generalidades. Marzo, 2000.
- [2] UIT-T Recomendación G.971-Características generales de los sistemas de cable submarino de fibra óptica. Junio, 2004.
- [3] García Victorino, Evelyn.A. "Telefonía con Fibra Óptica". *Tesis de grado, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, ZACATENCO*, México DF, marzo, 2009, p. 119. <http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/3522/3/TELEFONIA%20CON%20FIBRA%20OPTICA.pdf>. (acceso: octubre 12, 2012).
- [4] UIT-T Recomendación G.972-Definición de términos pertinentes a los sistemas de cable submarino de fibra óptica. Junio, 2004.
- [5] UIT-T Recomendación G.691-Optical interfaces for single channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers. Marzo, 2006.
- [6] UIT-T Recomendación G.707/Y.1322 (01/2007)- Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH). Enero, 2007.
- [7] Raw, Bruce. "Sistemas submarinos sin repetidor: desafíos y tecnologías futuras". *Bit Digital*, no.131, agosto, 2005, Foro del Colegio Oficial y la Asociación Española de Ingenieros de Telecomunicación. <http://www.coit.es/publicac/publbit/bit131/especial3.htm> (acceso: diciembre 5, 2010).