



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN**

**“IMPLEMENTACIÓN DE REDES PASIVAS CON CAPACIDAD GIGA BIT  
ETHERNET PARA ÚLTIMA MILLA”**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
PRESENTA:**

**SEGOVIANO ARRIOLA EDER AMAURY**



**ASESOR: ING. BENITO BARRANCO CASTELLANOS**

**San Juan de Aragón, Estado de México, Septiembre de 2011**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

<b>Indice</b>	<b>I</b>
<b>Introducción</b>	<b>II</b>
<b>Objetivo</b>	<b>III</b>
<b>Capítulo I Conceptos básicos de fibra óptica</b>	<b>1</b>
1.1 Ancho de banda de un canal	1
1.1.1 Velocidad de transmisión	3
1.1.2 Muestreo	6
1.2 Circuitos de Fibra óptica	16
1.2.1 Tipos de Fibra Óptica	20
1.2.2 Fibra Multimodo	20
1.2.3 Fibra monomodo	29
1.3 Índice de refracción	30
1.3.1 Ley de Snell	32
1.3.2 Apertura numérica	33
1.4 Espectro óptico	34
1.5 Láser	39
1.5.1 Receptores ópticos	42
<b>Capítulo II Fibra hasta el Hogar (FTTH)</b>	<b>45</b>
2.1 Nuevas necesidades en las comunicaciones	46
2.1.1 La fibra en las redes urbanas de enlaces	47
2.1.2 La fibra en las comunicaciones interurbanas	49
2.1.3 La fibra óptica y las redes digitales	50
2.2 Red Híbrida Fibra-Coaxial	54
2.2.1 (siglas de Digital Subscriber Line, "línea de suscripción digital")	56
2.2.2 WiMax	57
2.3 Redes Ópticas Pasivas	58
2.3.1 FTTx (Fiber to the x)	60
2.3.2 Arquitectura de FTTH	62
2.3.3 Tecnología FTTH	63
2.3.4 La fibra en las redes públicas	65
2.4 Norma de construcción de la red secundaria de fibra óptica auto soportada	66
2.4.1 Cables aéreos de fibra óptica	66
2.4.2 Postes	68
2.4.3 Instalación del cable aéreo autosoportado	69
<b>Capítulo III Red óptica pasiva con capacidad de gigabit (GPON) recomendación G.984.2</b>	<b>75</b>
3.1 Introducción	75
3.2 Aplicaciones del sistema	75
3.2.1 Balance del enlace óptico	78
3.2.2 Alcance	80
3.3 Norma de construcción de la red de cliente para fibra a la casa	82
3.3.1 Descripción de la red de cliente	83
3.3.2 Materiales, herramientas y equipos.	85
3.3.3 Construcción de red exterior	87
3.3.4 Llegada del Cordón de Acometida a la Casa del Cliente.	88
3.3.5 Construcción red de usuario (interior)	92
3.3.6 Colocación y Conexión de la ONT.	93
3.3.7 Construcción Interior para servicio de Voz analógica.	94
3.3.8 Trayectoria del cable UTP	96
3.3.9 Fijación del Cable UTP y/o Cable marfil Óptico	97
<b>Conclusiones</b>	<b>100</b>
<b>Glosario</b>	<b>103</b>



## Objetivo

Demostrar y definir los servicios que los proveedores de internet prestan a los suscriptores, temas y conceptos fundamentales que nos permitirán conocer las fibras ópticas que son el elemento principal en un sistema de transmisión que haya sido implementado utilizando alguna de las variantes de la tecnología PON (Passive Optical Network, Red Óptica Pasiva), red que les permite a los usuarios contar con un mayor ancho de banda y mejores servicios al contar con accesos por medio de Fibra Óptica y además estas redes permiten reemplazar los elementos activos en una red por elementos pasivos, lo que permite que los costos de la red se reduzcan en un gran porcentaje. PON es usada principalmente para redes FTTH (Fibra hasta la Casa).



## Introducción

El operador telefónico más grande de nuestro país cuenta en su red externa de cobre no sólo servicios telefónicos convencionales, sino también servicios de banda ancha a través de tecnologías digitales como el ADSL2+ (Asymmetric Digital Subscriber Line 2 Plus) la cual permite que las líneas telefónicas operen con velocidades de alrededor de 20 Mbps y VDSL 2 (Very High Speed Digital Subscriber Line versión 2) que permite velocidades de 20 Mbps o mayores. Ha incrementado la velocidad de acceso de sus clientes de Internet y actualmente ya ofrece servicios de Internet de hasta 20 Mbps a sus clientes residenciales.

El acceso por fibra óptica está disponible a clientes corporativos para proporcionarles servicios múltiples de banda ancha, y es cada vez mayor para clientes residenciales con soluciones robustas y altamente confiables. Se ofrecen servicios dedicados con velocidades desde 64 kbps hasta 1 Gbps y se están incorporando servicios de Nx1 Gbps y 10 Gbps; usando conexiones convencionales y también Ethernet.

Para clientes residenciales se utiliza fibra óptica bajo los esquemas de “Fibra hasta el Distrito” y “Fibra hasta los desarrollos residenciales” también conocida como “Fibra al Edificio”, como parte de una estrategia de extender la fibra óptica y reducir la longitud del par de cobre, para incrementar el ancho de banda a sus diversos clientes.

En la segunda mitad de 2010 arranca el despliegue de la fibra óptica en un escenario de penetración hasta el sitio del cliente (fibra hasta la casa o FTTH, por sus siglas en inglés). Esto permite ofrecer el acceso a Internet y toda una gama de nuevos servicios de banda ancha a velocidades de 20 Mbps o mayores desde la primera mitad de 2011. La fibra óptica en conjunto con la tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Network) permitirá paulatinamente reemplazar la infraestructura de cobre por fibra óptica.

El acceso inalámbrico está soportado por plataformas de radios de acceso directo y acceso múltiple, sistemas WLL (Wireless Local Loop), sistemas Wimax así como por sistemas satelitales con los cuales se da cobertura a clientes geográficamente distantes de infraestructura de fibra óptica.

La tecnología de telecomunicaciones FTTH (del inglés *Fiber To The Home*), también conocida como fibra hasta el hogar, enmarcada dentro de las tecnologías FTTx, se basa en la utilización de cables de fibra óptica y sistemas de distribución ópticos adaptados a esta tecnología para la distribución de servicios avanzados, como el Triple Play: telefonía, Internet de banda ancha y televisión, a los hogares y negocios de los abonados.

La implantación de esta tecnología está tomando fuerza, especialmente en países como Estados Unidos y Japón, donde muchos operadores reducen la promoción de servicios ADSL en beneficio de la fibra óptica con el objetivo de proponer servicios muy atractivos de banda ancha para el usuario (música, vídeos, fotos, etc.).

La tecnología FTTH propone la utilización de fibra óptica hasta el domicilio del usuario. La red de acceso entre el abonado y el último nodo de distribución puede realizarse con una o dos fibras ópticas dedicadas a cada usuario (una conexión punto-punto que resulta en una topología en estrella) o una red óptica pasiva (del inglés *Passive Optical Network*, PON) que usa una estructura arborescente con una fibra en el lado de la red y varias fibras en el lado usuario.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones, sector Telecomunicaciones, ITU-T (International Telecommunications Union – Telecommunication sector) inició sus trabajos en el estándar GPON en el año 2002.

GPON está estandarizado en el conjunto de recomendaciones ITU-T G.984.x (x = 1, 2, 3, 4, 5, 6). Las primeras recomendaciones aparecieron durante los años 2003 y 2004, teniendo continuas actualizaciones en los años posteriores.

GPON proporciona una estructura de trama escalable desde 622 Mb/s hasta 2,5 Gb/s, así como la capacidad de soportar tasas de bits asimétricas. La velocidad de transmisión más utilizada por los actuales proveedores de plataformas PON es de 2,488 Gb/s en el canal de distribución (sentido de downstream) y de 1,244 Gb/s en el canal de retorno (sentido de upstream).

La red de acceso es la parte de la red más próxima al usuario, por lo que se caracteriza por la abundancia de servicios y protocolos. El método de encapsulamiento de la información que utiliza GPON se llama GEM (GPON Encapsulation Method) que permite soportar cualquier tipo de servicio, (Ethernet, ATM, TDM, entre otros) en un protocolo de transporte síncrono basado en tramas periódicas de 125µs.

**GPON** Es una red de fibra totalmente pasiva, nada de repetidores dentro de la red y nada de fuentes de poder intermedias, solo splitters, acopladores y atenuadores. Toda la información es transmitida bidireccionalmente sobre una sola fibra conocida como PON. Se utilizan dos longitudes de onda distintas, una para la información de bajada (Ej. 1490 nm) y una para la información de subida (Ej. 1510 nm).

La información en bajada (**downstream**) es transmitida en modo broadcast, es decir que la información le llega a todos los elementos de la red. Como la información le llega a todos los usuarios es necesario utilizar un sistema de encriptamiento para mantener la privacidad de las comunicaciones.

En subida (**upstream**) la transmisión es realizada utilizando un protocolo de acceso múltiple conocido como TDMA (time division multiple access ), en donde

cada elemento de la red tiene un periodo de tiempo específico para transmitir, permitiendo que un mismo canal de transmisión, en este caso la misma longitud de onda, sea compartido por varios usuarios.

**¿Qué dispositivos de red se utilizan?** En las soluciones implementadas generalmente existen dos tipos de elementos de red, los ONTs y el OLT.

OLT – Optical Line Terminal: es el nodo Principal de la red y es el punto de comunicación con el resto de los servicios de red ofrecidos por el proveedor (red SDH, red ATM, red IP, Metro ethernet, etc.). Solo puede existir un OLT por PON.

ONT – Optical Network Termination: es el equipo que se instala en las premisas del cliente. La tarea principal de este dispositivo es realizar la Interfase entre la red óptica y los equipos del cliente. El ONT puede tener puertos ethernet para servicios de datos, puertos E1s o POTS para servicios de voz y puertos RF análogos para servicios de video.

En este trabajo de tesis está conformado por los siguientes capítulos.

**Capítulo 1.-** Se hace referencia a los conceptos básicos de fibra óptica haciendo hincapié en los modos de transmisión tipo multimodo y monomodo describiendo sus características y sus diversas formas de propagación.

**Capítulo 2.-** Se refiere a la tecnología FTTH, como trabaja y se instala en redes urbanas, se muestra la trayectoria de la central telefónica hasta la red secundaria antes de la instalación del cliente final.

**Capítulo 3.-** Para este tema se hace referencia a la enmienda de la norma que trata sobre Sistemas de línea óptica para redes de acceso y redes locales, **G.984.2** SECTOR DE NORMALIZACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES DE LA UIT **Enmienda 1** (02/2006), y se hace de forma descriptiva de como se instala el servicio al cliente final, tomando como referencia la norma de construcción del operador dominante en nuestro país, hago la aclaración que este servicio apenas se está integrando en la ciudad de México.

# Capítulo 1

## Conceptos básicos de fibra óptica

En el presente capítulo se van a estudiar los fenómenos físicos que posibilitan la transmisión de información desde una estación emisora, hasta una estación receptora ; así como los medios físicos más empleados en la actualidad para el transporte de la señal portadora de la información.

### 1.1 Ancho de banda de un canal

Cuando transmitimos una señal por un canal de comunicación, esta sufre una pérdida de energía y las amplitudes de cada uno de sus armónicos disminuyen. Si todos los coeficientes del desarrollo de Fourier ( $a_n$ ,  $b_n$ ) fueran disminuidos igualmente, la señal estaría disminuida en amplitud, pero no distorsionada, la señal estaría atenuada.

Lo que ocurre en la realidad es que cada medio de transmisión posee una *respuesta en frecuencias* característica, de forma que la señal que se transmite por él sufre distintas atenuaciones en función de la frecuencia. Un medio determinado tendrá solamente un rango de frecuencias, entre las cuales, cualquier señal con una frecuencia comprendida dentro de este rango que se transmita por él, sufrirá la misma atenuación en los armónicos que se encuentren dentro del rango de frecuencias del canal.

Llamaremos *ancho de banda* de un canal, al rango de frecuencias entre las cuales los armónicos sufren la misma atenuación durante la transmisión, de forma que se puede aplicar la misma escala de amplificación para ese rango de frecuencias sin que se produzca una distorsión. El ancho de banda sería pues, la diferencia entre la frecuencia superior e inferior que se puede transmitir con atenuación pero sin distorsión por un medio físico empleado como canal de comunicación.

El ancho de banda de un canal no solamente está limitado por el medio de transmisión, también lo está por los dispositivos conectados a él. Del mismo modo,

la respuesta en frecuencias del medio no es la única causa de distorsión de una señal, pueden influir muchos otros factores.

Ningún medio de transmisión puede transportar señales sin causar pérdida de energía en la señal transportada. Cada armónico de la señal tiene asociado un valor de energía. El valor :

$$d_n^2 = (a_n^2 + b_n^2) \quad (1.1)$$

es de especial interés, ya que es proporcional a la energía transmitida a la frecuencia o armónico correspondiente. Proporciona una medida de la energía de la señal que corresponde al n-ésimo armónico.

Como se ha mencionado anteriormente, el medio, dependiendo de su respuesta en frecuencias característica, va a atenuar de forma desigual las amplitudes de los diferentes armónicos de la señal transportada, dando lugar a que la pérdida de energía no sea proporcional para cada armónico. Por lo tanto, la señal va a ser distorsionada. En general las amplitudes se transmiten sin degradación (es decir, con un mismo factor de atenuación) para un rango de frecuencias que suele ser  $f=0$  hasta  $f=f_c$ , siendo  $f_c$  la frecuencia de corte característica del medio, medida en ciclos/segundo o Hertz (Hz). Todas las frecuencias superiores a dicha frecuencia de corte sufren fuertes atenuaciones. Este rango de frecuencias es lo que hemos denominado anteriormente como ancho de banda, es una propiedad del medio de transmisión. Es posible limitar el ancho de banda de un medio colocando filtros que disminuyan el rango de frecuencias que puede transportar, pero no es posible ampliarlo, ya que depende intrínsecamente de las propiedades físicas del medio.

Del mismo modo que hemos definido el concepto de ancho de banda de un medio, también se puede definir el ancho de banda de la señal que va a ser transmitida por dicho medio. También se le denomina anchura espectral de la señal, se define como la banda de frecuencias que contiene la mayor parte de la energía de la señal. Se considera despreciable la energía contenida en las frecuencias fuera de

este margen (un criterio a seguir sería considerar aquella banda de frecuencias que transporte un 90% de la energía total de la señal).

### 1.1.1 Velocidad de transmisión

Para estudiar la velocidad de transmisión de datos por un canal, vamos a suponer que esta transmisión se realiza a través de algún tipo de cable eléctrico, aunque todos los conceptos que se verán a continuación pueden extenderse a cualquier medio físico.

La información puede ser transmitida por un cable variando alguna propiedad de la corriente eléctrica que circula por él, por ejemplo su voltaje. Nuestro propósito es transmitir información digital, por lo tanto nos interesa poder representar los estados lógicos 0 y 1 de una forma sencilla y fácilmente reconocible. Un convenio podría ser emplear un nivel de tensión de 0 voltios para representar el estado lógico 0, y 5 voltios para representar el estado lógico 1.

Se considera *estados significativos* de una línea a todos aquellos niveles de tensión que representen información distintas. Si disponemos de dos niveles de tensión para representar la información, entonces sólo podremos señalar un bit en cada estado. Si en lugar de dos, utilizáramos cuatro niveles de tensión, podemos agrupar la información a transmitir de modo que cada nivel de tensión represente dos bits. En este caso se pueden transmitir dos bits de información por cada intervalo significativo de tiempo.

Podemos definir la *velocidad de modulación* como el número de veces por segundo que la señal cambia su valor en la línea o medio de transmisión. Esta velocidad se mide en baudios. El número de baudios determina la cantidad de cambios de estado por segundo que se producen en una transmisión. Cuantos más estados, más cantidad de bits por segundo se podrán transmitir. La expresión matemática que define la velocidad de modulación vendría dada por :

$$V_m = \frac{1}{T} \quad (1.3)$$

siendo T el intervalo de tiempo consumido por un estado.

Como hemos visto, un cambio de estado puede implicar la transmisión de más de un bit de información. Por lo tanto, el concepto de baudio está ligado directamente a las características del medio de transmisión y se corresponde con la cantidad de veces que la señal portadora oscila (cambia de estado) por unidad de tiempo.

Definiremos ahora la *velocidad de transmisión* como el número de bits transmitidos por segundo. Su unidad es el bps (bits por segundo). En general, si el número de estados posibles de la línea de comunicación es n, a cada estado le corresponderán  $\log_2 n$  bits de información, por lo tanto la velocidad de transmisión será :

$$V_t = \frac{1}{T} (\log_2 n) = V_m (\log_2 n) \quad (1.4)$$

Solo en el caso de tener dos estados significativos (n=2), el número de baudios coincidirá con la cantidad de bits por segundo que se pueden transmitir por la línea.

El tiempo necesario para transmitir un carácter depende del método de codificación y de la velocidad de transmisión. Supongamos por ejemplo que tenemos caracteres codificados con 8 bits, que vamos a emplear dos estados significativos y que la velocidad de transmisión es v bps. El tiempo necesario para enviar el carácter sería :

$$t_{caracter} = 8 \cdot t_{bit} = 8 \cdot \frac{T}{\log_2 n} = 8 \cdot \frac{T}{1} = \frac{8}{v} \quad (1.5)$$

En la transmisión de un conjunto de caracteres se puede considerar que el carácter va a repetirse indefinidamente a partir del último bit, por lo tanto el tiempo  $t_{\text{carácter}}$  podría concebirse como el periodo de la señal. En tal caso, la frecuencia del primer armónico de la serie de Fourier será :

$$f_1 = \frac{1}{t_{\text{carácter}}} = \frac{v}{8} \quad (1.6)$$

Si para enviar la señal se emplea como medio físico de transmisión, por ejemplo, una línea telefónica común, cuyo ancho de banda es aproximadamente 3 KHz, limitaremos las frecuencias más altas que pueden pasar a través del medio, de modo que la frecuencia del último armónico que podrá transmitirse sin distorsión será menor o igual a 3000 Hz :

$$f_N \leq 3000 \text{ Hz} \quad (1.7)$$

como la frecuencia del N-ésimo armónico es N veces la frecuencia del primer armónico:

$$f_N = N \cdot f_1 \quad (1.8)$$

podemos deducir que el número máximo de armónicos que se podrá transmitir por el medio físico vendrá dado por la expresión :

$$N = \frac{f_N}{f_1} \leq \frac{3000}{\left(\frac{v}{8}\right)} = \frac{24000}{v} \quad (1.9)$$

en general, la cantidad de armónicos N para una velocidad de transmisión v y un ancho de banda de 3KHz corresponde a la parte entera de la expresión anterior. Se puede deducir de dicha expresión que si se aumenta la velocidad de transmisión se reduce el número de armónicos que pueden pasar a través del canal sin distorsión. Para el ancho de banda que presenta el medio físico utilizado

en la red telefónica, si queremos obtener velocidades de transmisión superiores a 2400 bps es necesario recurrir a sistemas con varios estados, utilizando para ello varios niveles de voltaje.

En la transmisión de información digital entre computadoras es fundamental que aseguremos intercambios de datos libres de errores. El coste de esto estriba en que a la propia información a transmitir se le deben añadir otras informaciones adicionales para detección/corrección de errores, para establecer y controlar la comunicación, etc. Aparece aquí un nuevo concepto de velocidad que llamaremos *velocidad de transferencia de datos*, y que representa la cantidad de información útil que puede transmitirse por unidad de tiempo<sup>1</sup> :

$$V_{td} = \frac{\text{NumeroBitsInformacionUtil}}{\text{TiempoParaTransmitirTodosBits}} \quad (1.10)$$

### 1.1.2 Muestreo

Una operación que es básica para diseñar todos los sistemas de modulación de pulsos es el proceso de muestreo, donde una señal analógica se convierte en una secuencia de números que normalmente están uniformemente espaciados en el tiempo. Para que dicho proceso tenga utilidad práctica es necesario elegir la tasa de muestreo adecuadamente de modo que esa secuencia de números identifique de forma única a la señal analógica original.

Esta es la esencia del teorema de muestreo.

Consideremos una señal arbitraria  $g(t)$  de energía finita como la que se muestra en la figura 1.1 Supongamos que muestreamos la señal  $g(t)$  de forma instantánea a una tasa uniforme cada  $T_s$  segundos. Como resultado de este proceso se obtiene una secuencia de números espaciados  $T_s$  y que podemos denotar

---

<sup>1</sup> <http://www.ctv.es/USERS/carles/PROYECTO/cap1/cap1.html>

mediante  $\{g(nT_s)\}$ , donde  $n$  puede tomar cualquier valor entero,  $T_s$  es el periodo de muestreo y  $f_s = 1/T_s$  es la frecuencia de muestreo. Esta forma ideal de muestreo recibe el nombre de muestreo instantáneo.

Sea  $g_\delta(t)$  la señal obtenida multiplicando la secuencia de números  $\{g(nT_s)\}$  por un tren de deltas espaciados  $T_s$ , entonces se puede expresar según la ecuación (1.11).

$$g_\delta(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(nT_s)\delta(t - nT_s) \tag{1.11}$$

A  $g_\delta(t)$  se la denomina señal muestreada ideal. En la figura 1.1 se puede ver el resultado de este tipo de muestreo aplicado a la señal de la figura 1.2. De forma equivalente se puede expresar  $g_\delta(t)$  como el producto de la señal original  $g(t)$  por la función de muestreo ideal  $\delta_{T_s}(t)$  con periodo  $T_s$  según la ecuación (1.12).

$$g_\delta(t) = g(t)\delta_{T_s}(t) = g(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_s) \tag{1.12}$$

Se puede determinar la transformada de Fourier de la señal muestreada  $g_\delta(t)$  convolucionando a transformada de Fourier de  $g(t)$  con la transformada de Fourier de la función de muestreo ideal  $\delta_{T_s}(t)$  que viene dada por la ecuación (1.13). Entonces si  $G(f)$  es la transformada de Fourier de  $g(t)$ , la transformada de Fourier  $G_\delta(f)$  de la señal muestreada  $g_\delta(t)$  viene dada por la ecuación (1.14). Si intercambiamos el orden del sumatorio y la convolución se obtiene la ecuación (1.15). La convolución de una señal cualquiera con una delta desplazada, desplaza la señal según la ecuación (1.16), por lo que se tiene finalmente la ecuación (1.17).

$$\delta_{T_s}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_s) \iff \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta\left(f - \frac{n}{T_s}\right) \tag{1.13}$$

$$G_{\delta}(f) = G(f) * \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta \left( f - \frac{n}{T_s} \right) \quad (1.14)$$

$$G_{\delta}(f) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} G(f) * \delta \left( f - \frac{n}{T_s} \right) \quad (1.15)$$

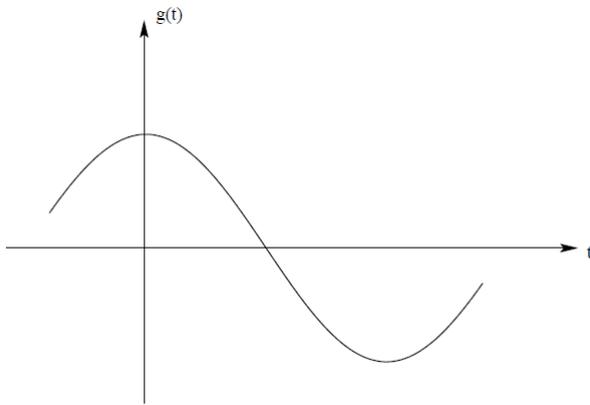


Fig. 1.1 Señal Arbitraria de energía finita.

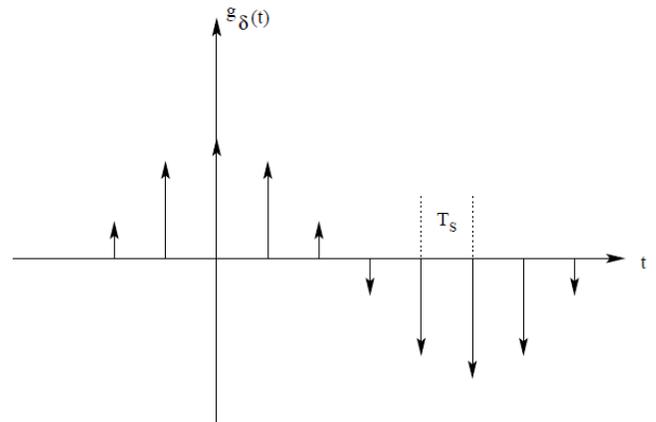


Fig. 1. 2 la Señal de la figura 1.1 muestreada idealmente.

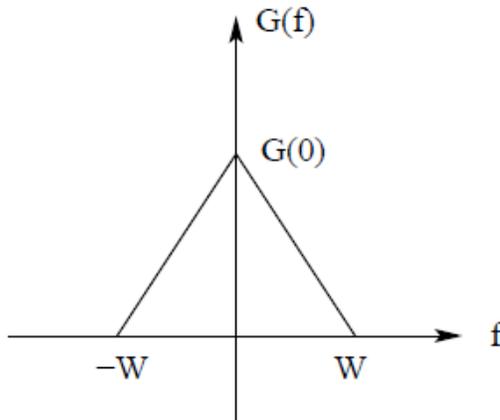


Fig. 1. 3 Espectro de la señal a muestrear limitado a la banda W.

$$G(f) * \delta \left( f - \frac{n}{T_s} \right) = G \left( f - \frac{n}{T_s} \right) \quad (1.16)$$

$$G_{\delta}(f) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} G \left( f - \frac{n}{T_s} \right) \quad (1.17)$$

$G\delta(f)$  representa un espectro continuo periódico con periodo  $f_s = 1/T_s$ . Se puede decir entonces que el proceso de muestreo uniforme de una señal en el dominio del tiempo da lugar a un espectro periódico en el dominio de la frecuencia con periodo igual a la frecuencia de muestreo.

A partir de la ecuación (1.11) tomando transformada de Fourier en ambos lados se obtiene la ecuación (1.18). Esta ecuación se puede ver como una representación en serie compleja de Fourier de la señal periódica en la frecuencia  $G\delta(f)$ , siendo los coeficientes complejos de la expansión la secuencia de muestras  $\{g(nT_s)\}$ , por lo que se tiene la ecuación (1.19), que es la ecuación análisis de la expansión en serie compleja de Fourier de una señal. Hay que tener en cuenta que en las ecuaciones (1.18) y (1.19) se han intercambiado el papel habitual del tiempo y de la frecuencia.

$$G\delta(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(nT_s) \exp(-j2\pi n f T_s) \quad (1.18)$$

$$g(nT_s) = T_s \int_0^{f_s} G\delta(f) \exp(j2\pi n f T_s) df \quad (1.19)$$

Todas las relaciones anteriores se pueden aplicar a cualquier señal continua  $g(t)$  de energía finita y de duración finita. Vamos a suponer ahora que la señal es estrictamente limitada a la banda  $W$ , es decir, la transformada de Fourier  $G(f)$  de la señal  $g(t)$  no tiene componentes frecuenciales fuera de  $|f| < W$ . En la figura 1.3 podemos ver el espectro  $G(f)$  limitado a la banda  $W$ . La forma de este espectro se considera triangular para simplificar las figuras, pero en la práctica puede tener cualquier otra forma.

Vamos a suponer que se elige un periodo de muestreo  $T_s = \frac{1}{2W}$  o lo que es lo mismo, una tasa de muestreo  $f_s = 2W$ . En este caso se puede ver el espectro de  $G\delta(f)$  en la figura 1.4. En este caso la ecuación (1.18) se puede volver a escribir según la ecuación (1.20).

$$G_{\delta}(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g\left(\frac{n}{2W}\right) \exp\left(-\frac{j\pi n f}{W}\right) \quad (1.20)$$

Comparando las figuras 1.3 y 1.4 se puede comprobar que se puede recuperar el espectro original  $G(f)$  a partir del espectro de la señal muestreada  $G_{\delta}(f)$  según la ecuación (1.11).

Juntando las ecuaciones (1.20) y (1.21) se tiene la ecuación (1.22).

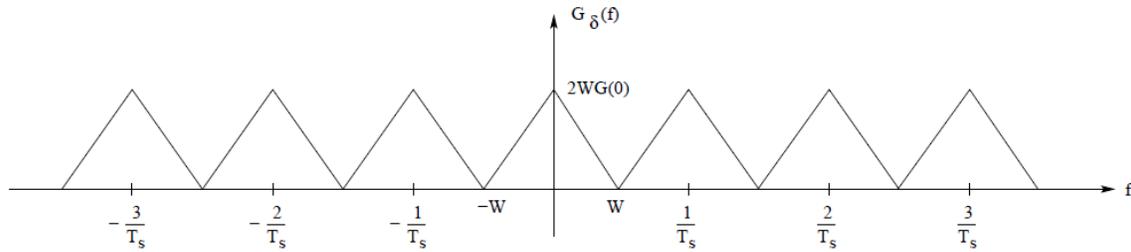


Fig. 1.4: Espectro de la señal a muestreada para el caso  $f_s = 2W$ .

$$G(f) = \frac{1}{2W} G_{\delta}(f) \quad -W \leq f \leq W \quad (1.21)$$

$$G(f) = \frac{1}{2W} \sum_{n=-\infty}^{\infty} g\left(\frac{n}{2W}\right) \exp\left(-\frac{j\pi n f}{W}\right) \quad -W \leq f \leq W \quad (1.22)$$

Si se conoce el valor de todas las muestras  $\left\{g\left(\frac{n}{2W}\right)\right\}$  de la señal  $g(t)$ , entonces la transformada de Fourier  $G(f)$  de la señal  $g(t)$  está unívocamente determinada por la representación en serie de Fourier de la ecuación (1.22). Además puesto que  $g(t)$  se puede determinar a partir de su espectro  $G(f)$  utilizando la transformada inversa de Fourier, la señal original  $g(t)$  está también unívocamente determinada por las muestras  $\left\{g\left(\frac{n}{2W}\right)\right\}$ .

En otras palabras, la secuencia  $\left\{g\left(\frac{n}{2W}\right)\right\}$  contiene toda la información de la señal  $g(t)$ .

Vamos a considerar ahora el problema de recuperar la señal  $g(t)$  a partir de las muestras  $\left\{g\left(\frac{n}{2W}\right)\right\}$ . Usando la ecuación (1.22) y la expresión de la transformada inversa de Fourier se puede escribir el desarrollo de la ecuación (1.23). Si intercambiamos el orden del sumatorio y la integral en la ecuación anterior se puede escribir la ecuación (1.24). La integral de la derecha de esta ecuación es inmediata y se puede calcular directamente obteniéndose finalmente la ecuación (1.25).

$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} G(f) \exp(j2\pi ft) df = \int_{-W}^W \frac{1}{2W} \sum_{n=-\infty}^{\infty} g\left(\frac{n}{2W}\right) \exp\left(-\frac{j\pi n f}{W}\right) \exp(j2\pi ft) df \quad (1.23)$$

$$g(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g\left(\frac{n}{2W}\right) \frac{1}{2W} \int_{-W}^W \exp\left[j2\pi f\left(f - \frac{n}{2W}\right)\right] df \quad (1.24)$$

$$g(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g\left(\frac{n}{2W}\right) \frac{\sin(2\pi Wt - n\pi)}{2\pi Wt - n\pi} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g\left(\frac{n}{2W}\right) \text{sinc}(2Wt - n) \quad (1.25)$$

La ecuación (15) se conoce como fórmula de interpolación para reconstruir la señal original  $g(t)$  a partir de las muestras  $\left\{g\left(\frac{n}{2W}\right)\right\}$  siendo la función  $\text{sinc}(2Wt)$  **la función interpoladora**. Cada muestra se multiplica por una versión retardada de la función interpoladora y el resultado se suma para obtener la señal original  $g(t)$ . Se puede ver que esta ecuación representa la respuesta de un filtro paso bajo ideal de ancho de banda  $W$ , con retardo cero y cuya entrada es la señal muestreada  $g\delta(t)$ .

Esto se puede comprobar de forma intuitiva viendo los espectros  $G\delta(f)$  y  $G(f)$  en las figuras 1.3 y 1.4 ó a partir de la ecuación (1.21). En la figura 1.5 se puede ver la función de transferencia del filtro de reconstrucción. En la figura 1.6 se puede ver esquemáticamente el proceso de recuperación de la señal original  $g(t)$  a partir de las secuencia de muestras  $\left\{g\left(\frac{n}{2W}\right)\right\}$

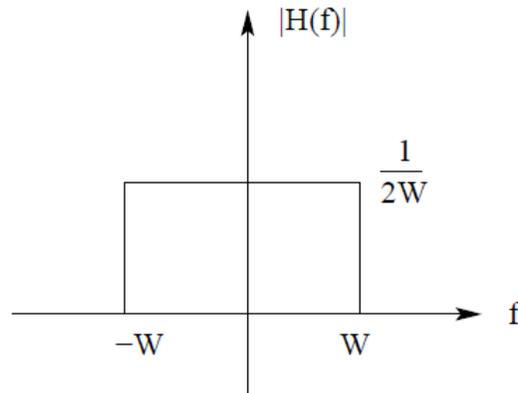


Fig.1.5 Filtro ideal de reconstrucción.

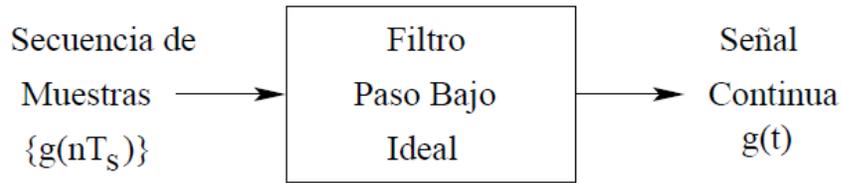


Fig. 1.6: Esquema del proceso de recuperación de la señal a partir de las muestras.

Otra interpretación de la fórmula de interpolación dada por la ecuación (1.25) utilizando la propiedad de que la función interpoladora desplazada  $\text{sinc}(2Wt - n)$  forma una familia de funciones mutuamente ortogonales. Vamos a comenzar probando esta última afirmación en primer lugar. Vamos a considerar una versión generalizada del teorema de energía de Rayleigh dada por la ecuación (1.26), siendo  $g_1(t)$  y  $g_2(t)$  dos señales de energía cualesquiera y  $G_1(f)$  y  $G_2(f)$  sus transformadas de Fourier, respectivamente.

Vamos a aplicar este teorema a las señales que nos interesa según las ecuaciones (1.27) y (1.28), siendo  $n$  y  $m$  dos enteros cualesquiera. Utilizando la transformada inmediata dada por la ecuación (1.29) y la propiedad de la transformada de Fourier de desplazamiento temporal se puede llegar a las ecuaciones (1.30) y (1.31).

$$\int_{-\infty}^{\infty} g_1(t)g_2^*(t)dt = \int_{-\infty}^{\infty} G_1(f)G_2^*(f)df \tag{1.26}$$

$$g_1(t) = \text{sinc}(2Wt - n) = \text{sinc} \left[ 2W \left( t - \frac{n}{2W} \right) \right] \quad (1.27)$$

$$g_2(t) = \text{sinc}(2Wt - m) = \text{sinc} \left[ 2W \left( t - \frac{m}{2W} \right) \right] \quad (1.28)$$

$$\text{sinc}(2Wt) \iff \frac{1}{2W} \Pi \left( \frac{f}{2W} \right) \quad (1.29)$$

$$\left\{ g \left( \frac{n}{2W} \right) \right\} G_1^{(+)} = \frac{1}{2W} \Pi \left( \frac{f}{2W} \right) \exp \left( -\frac{j\pi n f}{W} \right) \quad (1.30)$$

$$G_2(t) = \frac{1}{2W} \Pi \left( \frac{f}{2W} \right) \exp \left( -\frac{j\pi m f}{W} \right) \quad (1.31)$$

Usando ahora la relación dada por la ecuación (1.26) se obtiene la ecuación (1.32). El resultado de esta ecuación es  $\frac{1}{2W}$  para  $n = m$  y cero en el resto, es decir, se tiene finalmente la ecuación (1.33), con lo que queda demostrado que la familia de funciones  $\text{sinc}(2Wt - n)$  es *ortogonal*.

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} \text{sinc}(2Wt - n) \text{sinc}(2Wt - m) dt &= \left( \frac{1}{2W} \right)^2 \int_{-W}^W \exp \left[ -\frac{j\pi f}{W} (n - m) \right] df \\ &= \frac{\sin[\pi(n - m)]}{2W\pi(n - m)} = \frac{1}{2W} \text{sinc}(n - m) \end{aligned} \quad (1.32)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \text{sinc}(2Wt - n) \text{sinc}(2Wt - m) dt = \begin{cases} \frac{1}{2W} & n = m \\ 0 & n \neq m \end{cases} \quad (1.33)$$

La ecuación (1.25) representa entonces la expansión de la señal  $g(t)$  como la suma infinita de funciones ortogonales cuyos coeficientes son las muestras de la señal.  $\left\{ g \left( \frac{n}{2W} \right) \right\}$

Utilizando la propiedad de ortogonalidad de estas funciones dada por la ecuación (1.33) se puede llegar a la expresión dada por la ecuación (1.24) para las

muestras de la señal. Los coeficientes de esta expansión  $\left\{g\left(\frac{n}{2W}\right)\right\}$  se pueden ver como una coordenada en un espacio de señal de dimensión infinita cuyos ejes son ortogonales y corresponden a las funciones  $\text{sinc}(2Wt-n)$ . Cada punto de este espacio corresponde a una señal  $g(t)$  y cada señal  $g(t)$  a un punto.

$$g\left(\frac{n}{2W}\right) = 2W \int_{-\infty}^{\infty} g(t) \text{sinc}(2Wt - n) dt \quad (1.34)$$

Se puede enunciar el teorema de muestreo o teorema de Nyquist para señales limitadas en banda de energía finita de dos modos:

- Una señal limitada en banda de energía que no tiene componentes a frecuencias mayores que  $W$  Hz se puede representar de forma exacta especificando los valores de la señal en instantes de tiempo separados  $T_s = \frac{1}{2W}$  segundos.
- Una señal limitada en banda de energía sin componentes frecuenciales superiores a  $W$  Hz se puede recuperar de forma exacta a partir de sus muestras tomadas a una tasa de  $f_s = 2W$  muestras por segundo.

La tasa de muestreo  $f_s = 2W$  definida para una señal con ancho de banda  $W$  se denomina tasa de Nyquist. El teorema de muestreo es la base de la equivalencia entre señales analógicas y digitales.

El teorema de muestreo se basa en la suposición de que la señal  $g(t)$  sea estrictamente limitada en banda. Esto solo se satisface si  $g(t)$  tiene duración infinita. Es decir, una señal estrictamente limitada en banda no puede ser simultáneamente estrictamente limitada en tiempo y viceversa. Sin embargo, se va a poder aplicar en la practico el teorema de muestreo a señales limitadas temporalmente cuando éstas sean esencialmente limitadas en banda en el sentido de que fuera de la banda de interés el valor que toma el espectro no es relevante. Esto justifica la aplicación práctica del teorema de muestreo.

Cuando la tasa de muestreo  $f_s$  excede a la de Nyquist  $2W$ , las replicas de  $g(f)$  requeridas para la construcción de  $G\delta(f)$  están más separadas por lo que no existe ningún problema a la hora de recuperar la señal original  $g(t)$  a partir de la señal muestreada  $g\delta(t)$  con el procedimiento descrito. Sin embargo, cuando la tasa de muestreo  $f_s$  es menor que  $2W$ , se puede ver que al construir la señal  $G\delta(f)$ , las replicas de  $G(f)$  aparecen solapadas.

En este caso el espectro  $G\delta(f)$  pasaría a ser el de la figura 1.7. Las altas frecuencias de  $G(f)$  se ven reflejadas hacia las bajas frecuencias en  $G\delta(f)$ . Este fenómeno se denomina aliasing. Es evidente que comprobar que si la tasa de muestreo  $f_s$  es menor que la de Nyquist  $2W$ , la señal original  $g(t)$  no se puede recuperar de forma exacta a partir de las muestras y, por lo tanto, se pierde información en el proceso de muestreo.

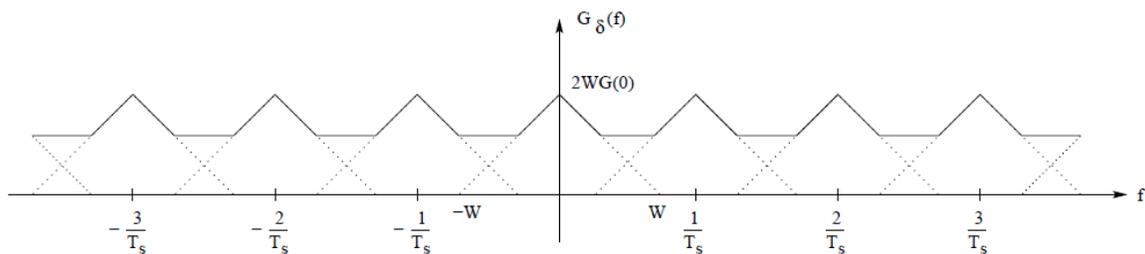


Fig. 1.7 Espectro de la señal a muestreada para el caso  $f_s < 2W$ .

Debido a que una señal, como ya hemos dicho, no puede ser estrictamente limitada en tiempo y frecuencia, si la señal es finita en el tiempo, siempre existirá algo de aliasing y se perderá parte de la información en el proceso de muestreo. Sin embargo, este efecto suele ser en general despreciable. Para que así sea:

- Antes de muestrear la señal pasarla por un filtro paso bajo antialiasing para atenuar las componentes a alta frecuencia de la señal (o del ruido) fuera de la banda de interés.
- Muestrear la señal filtrada ligeramente por encima del límite de Nyquist<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> <http://www.lpi.tel.uva.es/~santi/slweb/muestreo.pdf>

## 1.2 Circuitos de fibra óptica

Los circuitos de fibra óptica son filamentos de vidrio (compuestos de cristales naturales) o plásticos (cristales artificiales), del espesor de un pelo (entre 10 y 300 micrones). Llevan mensajes en forma de haces de luz que realmente pasan a través de ellos de un extremo a otro, donde quiera que el filamento vaya (incluyendo curvas y esquinas) sin interrupción. Los diámetros de núcleo y cubierta típicos de estas fibras son **50/125 y 62,5/125mm**.

Las fibras ópticas pueden ahora usarse como los alambres de cobre convencionales, tanto en pequeños ambientes autónomos (tales como sistemas de procesamiento de datos de aviones), como en grandes redes geográficas (como los sistemas de largas líneas urbanas usadas por las compañías telefónicas).

Un medio físico se convierte en un canal cuando se le acopla un transmisor en un extremo, un receptor en el otro y, si es necesario para evitar el excesivo deterioro de la señal transmitida, unos repetidores intermedios. El concepto de canal, tiene asociado un sentido de transmisión (es unidireccional). El medio sin embargo, no suele excluir la existencia de ambos sentidos, es más, tratándolo adecuadamente pueden coexistir dos o más canales sobre un mismo soporte físico.

En el presente capítulo se van a estudiar los fenómenos físicos que posibilitan la transmisión de información desde una estación emisora, hasta una estación receptora ; así como los medios físicos más empleados en la actualidad para el transporte de la señal portadora de la información.

Las diferentes trayectorias que puede seguir un haz de luz en el interior de una fibra se denominan modos de propagación. Y según el modo de propagación tendremos dos tipos de fibra óptica: multimodo y monomodo.

Un sistema de comunicación por fibra óptica contiene básicamente los siguientes elementos:

- Transmisor (Fuente de Luz)
- Medio de Transporte (Fibra Óptica)

- Receptor (Sensor de Luz)

La siguiente muestra a la fibra óptica como medio de transmisión.

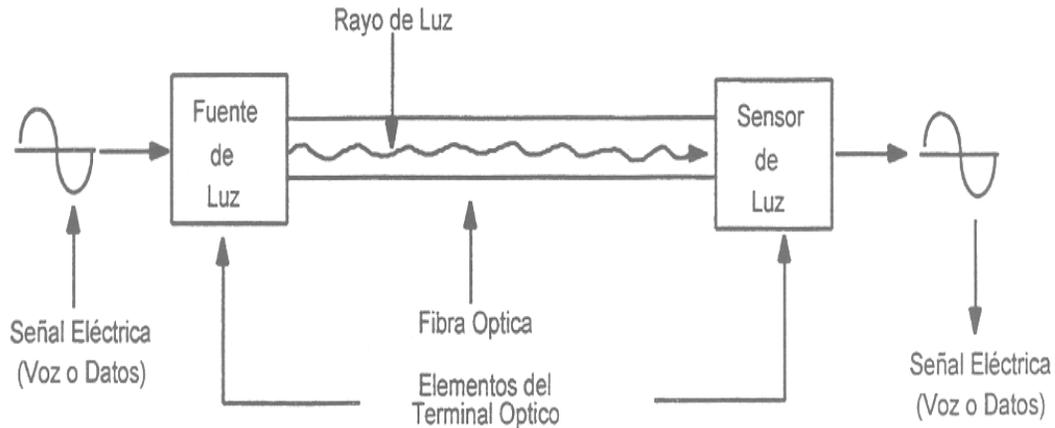


Fig. 1.8 Sistema básico de comunicación por fibra óptica.

En comparación con la comunicación por cobre, la fibra óptica nos brinda las siguientes ventajas:

Tabla 1.1 Ventajas de la Fibra óptica

Ventajas	Descripción
<b>Alta capacidad de transmisión</b>	Las fibras ópticas pueden transmitir grandes volúmenes de información a altas velocidades y permitir la utilización simultánea de gran número de usuarios. La capacidad de transmisión de las fibras está directamente relacionada con las características intrínsecas de la fibra y del equipo terminal al que se conecte. En algunos sistemas de comunicación se utiliza a velocidades de 140 Mb/s y 565 Mb/s; para tecnología síncrona SDH a velocidades de 155 Mb/s, 622 Mb/s y 2.5 Gb/s.
<b>Dimensiones</b>	Un cable de 2400 pares (TAP), con diámetro externo de 80 mm, puede ser substituido por un cable de fibra óptica con un diámetro de 15 mm.
<b>Peso y Tiempo de Instalación</b>	Un cable multipar de 3.5 km de largo pesa aproximadamente 20,650 kg y requiere de 800 horas-hombre para instalarlo; un cable coaxial para la misma capacidad y longitud, pesa aproximadamente 118,620 kg y requiere de 400 horas-hombre; en cambio un cable de fibras ópticas pesa 350 kg y necesita de 88 horas-hombre (Dependiendo de la estructura del cable)

<b>Atenuación</b>	Conforme se desarrolla la técnica de fabricación de fibras ópticas se obtienen atenuaciones cada vez más bajas, actualmente del orden de 0.4 dB/km a 0.25 dB/km, mientras que los cables coaxiales tienen una atenuación del orden de 33 dB/km.
<b>Distancia entre Repetidores</b>	En los enlaces de fibra óptica los repetidores se hacen menos frecuentes. Utilizándose a una distancia promedio de 80 km. (Dependiendo del tipo de fibra óptica y velocidad de transmisión) y manteniendo una señal de alta velocidad. Debido a los avances respecto a las características de las fibras ópticas actualmente la fibra óptica edfa (Tecnología de fibra Amplificadora Dopada con Erbio) promete la eliminación de los regeneradores intermedios y la utilización con equipo multiplexor por división de longitud de onda.
<b>Costos</b>	Mientras el costo de los cables de cobre se incrementa año con año, el costo de los cables de fibra óptica disminuye, debido al perfeccionamiento de las técnicas para producirlas. Si consideramos el costo total del sistema de comunicación, resultará siempre más económico usar fibras ópticas que cualquier otro tipo de cable cuando se necesita transmitir gran cantidad de información entre dos puntos y además se requiere garantizar la calidad del enlace y proteger de cualquier posible interferencia.
<b>Otras ventajas de las Fibras Ópticas</b>	Las fibras ópticas son flexibles, de bajo peso y permiten la propagación a muy altas frecuencias; también son inmunes al ruido, energía, son altamente resistentes e inmunes a interferencias de campos electromagnéticos externos. Por estas y muchas otras razones de importancia, que se expondrán en los siguientes capítulos, se espera un uso internacional de las fibras ópticas en los sistemas de comunicación, telecomunicaciones, protección, redes locales, instrumentación y control

Sin embargo, como cualquier sistema de telecomunicación tiene algunas desventajas, por ejemplo:

- Puede resultar más caro si sus ventajas no son correctamente evaluadas.
- Las pérdidas de acoplamiento y su dificultad en aplicaciones de campo por el pequeño tamaño de las fibras ópticas.
- Algunas fuentes luminosas tienen un promedio de vida útil muy limitada.
- Limitante en el ancho de banda, debido a los fenómenos intrínsecos de la fibra óptica.

Las desventajas son realmente pocas y se refiere principalmente a pérdidas por acoplamiento, debido a su pequeño tamaño, además de que se requiere de equipo y personal especializado para su mantenimiento.

Con la información anterior podemos concluir que las ventajas de la utilización de la fibra óptica como medio de transmisión son:

- No existe la diafonía.
- No puede ser interferida.
- Tiene un ancho de banda amplio.
- Totalmente dieléctrica
- Inmune a la corrosión.
- Tamaño pequeño, poco peso, soporta grandes tensiones y tiene mucha flexibilidad.

El mecanismo de la transmisión de la luz a lo largo de una fibra óptica se basa en la reflexión total interna que ocurre cuando un haz de luz emerge de un medio denso a uno menos denso. Su principio de operación se explica físicamente a partir de la teoría electromagnética. El conjunto del núcleo más el revestimiento forma lo que se denomina comúnmente “fibra óptica”. La figura 1.9 Muestra la constitución de una fibra óptica simple.

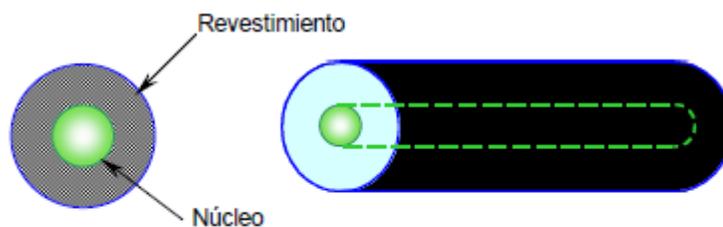


Fig. 1.9 Estructura de una fibra óptica

- **Núcleo:** Es la sección central y principal, en la que viaja la señal lumínica óptica. De acuerdo a la colocación de los materiales en el núcleo, se tienen dos tipos de “perfil de índice de refracción” principal: escalonado y gradual. Sin embargo, hay otros modernos como el segmentado, el triangular, etc.
- **Revestimiento:** Es la capa que rodea al núcleo, y su objeto es el de actuar como una pantalla reflejante que atrapa los rayos de luz en el núcleo. Para

lograrse este objetivo, el índice de refracción del revestimiento es ligeramente menor que el del núcleo.

- **Anillo:** Existe, en algunos tipos de fibra óptica, entre el núcleo y el revestimiento. Por ejemplo, en fibras de perfil de índice de refracción segmentado.

### 1.2.1 Tipos de fibra óptica

Las fibras ópticas son del tipo unimodo y multimodo, dependiendo de la forma de propagación de luz que presenten. Las fibras multimodo presentan varios modos de propagación de la luz al mismo tiempo, mientras que las fibras unimodo presentan solo un modo.

La teoría de los modos deriva de las ecuaciones de James Clerk Maxwell (Físico escocés del siglo pasado, en el año de 1873). Un modo es una solución válida de las ecuaciones de Maxwell. Se puede considerar por simplicidad que un modo es una trayectoria que puede seguir un rayo de luz viajando por la fibra. El número de modos soportados por una fibra de 1 hasta 100,000.

Una fibra proporciona un camino de trayectorias para uno o miles de rayos de luz, dependiendo de su medida y propiedades.

Además cada modo porta una cantidad específica de energía. La mayoría de las fibras soportan actualmente muchos modos. Sobre la distancia la energía se transfiere entre modos hasta que todos los modos conducen su energía característica, cuando esto ocurre se dice que se ha llegado al punto de “distribución de modo de equilibrio” (EMD). Las fibras ópticas de alta calidad a menudo requieren decenas de kilómetros para llegar al EMD.

### 1.2.2 Fibra multimodo

Una fibra multimodo es aquella que puede propagar más de un modo de luz. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Las fibras

multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, de algunos kilómetros. Su distancia máxima es de 2 km y usa cañón láser de baja intensidad. Su distancia máxima es de 2 km y usa cañón láser de baja intensidad. El núcleo de una fibra multimodo tiene un índice de refracción superior, pero del mismo orden de magnitud, que el revestimiento. Debido al gran tamaño del núcleo de una fibra multimodo, es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión.

Dependiendo el tipo de índice de refracción del núcleo, tenemos dos tipos de fibra multimodo:

**Fibras de índice escalonado:** El núcleo de estas fibras está constituido de un índice de refracción constante, rodeado por un revestimiento. El índice del revestimiento siempre es menor que el del núcleo con el que hace frontera; en este caso sí ocurre dispersión modal., tal como se muestra en la figura 1.10, donde **a** es el radio del núcleo.

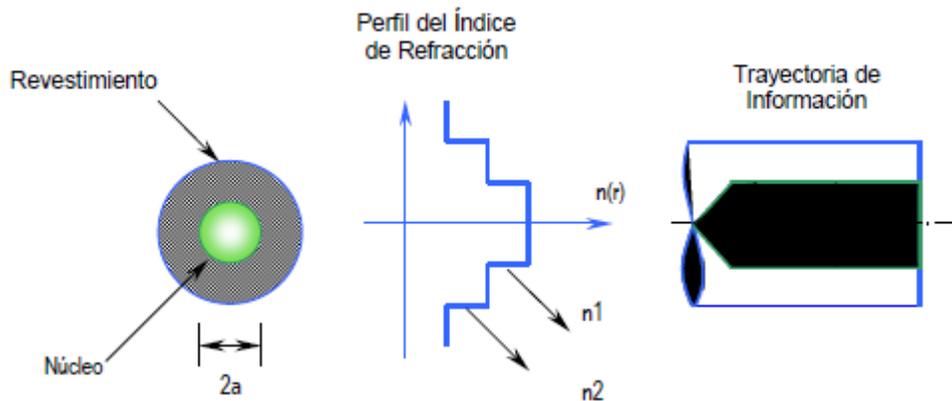


Fig. 1.10 Fibra multimodo de índice escalonado.

En la figura 1.11 se observa la estructura de una fibra de índice escalonado, que consiste, como ya lo hemos visto, de un núcleo (core) homogéneo – en este caso con un diámetro  $2a$  e índice de refracción  $n_1$  y de un revestimiento (cladding) que

rodea al núcleo y tiene un índice de refracción  $n_2$  ligeramente menor que el núcleo:

$$n_2 = n_1 (1 - \Delta) \tag{1.35}$$

En esta ecuación,  $\Delta$  es la diferencia fraccional del índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento:

$$\Delta = (n_1 - n_2) / n_1 \tag{1.36}$$

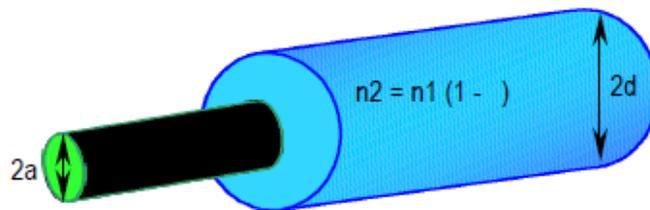


Fig. 1.11 Estructura de una fibra óptica de índice escalonado.

En la frontera entre el núcleo y el revestimiento se produce una reflexión total interna debido a la diferencia entre los índices de refracción; el ángulo crítico en este caso será:

$$\text{Sen } \theta_c = n_2 / n_1 = 1 - \Delta \tag{1.37}$$

En la fibra de índice escalonado se presentan dos tipos de rayos, los meridionales (Meridional Rays) y los rayos oblicuos (Skew Rays). Los primeros entran a través del eje de la fibra, se reflejan internamente y se propagan en un plano (figura 1.12). Los segundos no entran a través del eje, ni son paralelos a él, sino que se reflejan internamente siguiendo una trayectoria helicoidal (figura 1.13).

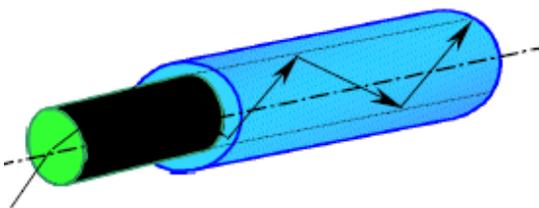


Fig. 1.12 Rayos meridionales

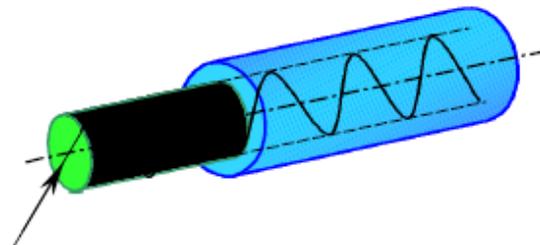


Fig. 1.13 Rayos oblicuos

**Rayos meridionales:** Estos rayos inciden primeramente en el núcleo de la fibra y quedan contenidos en un plano perpendicular a su sección transversal. Luego que han entrado al núcleo, deben incidir en la frontera entre el núcleo y el revestimiento y reflejarse con un ángulo  $\theta_c$  (ángulo crítico) o ángulos mayores, para que la reflexión sea total y el rayo quede confinado dentro del núcleo de la fibra.

Veamos un ejemplo de ello; para el común de las fibras usadas en comunicaciones, la diferencia de los índices de refracción oscila entre 0.007 y 0.02. Supongamos una  $\Delta = 0.01$ ; entonces el ángulo crítico sería:

$$\theta_c = \text{Sen}^{-1} (1 - \Delta)$$

$$\theta_c = \text{Sen}^{-1} (1 - 0.01) = 81.89^\circ$$

La longitud  $L$  que recorre el rayo es:

$$L(\theta) = L / \text{Cos } \theta \quad (1.38)$$

El objetivo de procurar diferencias pequeñas entre los índices de refracción es obtener ángulos críticos grandes que vayan casi paralelos al eje y evitar con ello pérdidas en la capacidad de información de la fibra, ya que de esta manera, el rayo que va por el eje de la fibra y los rayos meridionales sólo se desfasan ligeramente. En el caso de los rayos que inciden en la frontera núcleo-revestimiento con ángulos menores al crítico, pasan a través de ella refractándose en el revestimiento y se pierden en él por absorción, difusión o dispersión.

Ahora bien, de acuerdo a la *ley de Snell* (ver figura 1.14), se debe cumplir para los rayos incidente y refractado que:

$$n_0 \text{Sen } \theta_0 = n_1 \text{Sen } \theta \quad (1.39)$$

Esto es:

$$\text{Sen } \theta = n_0 / n_1 \text{Sen } \theta_0 \quad (1.40)$$

De la misma figura se observa que:

$$\cos \theta = \sin \theta_0 = n_1/n_2 \tag{1.41}$$

Y al utilizar la siguiente desigualdad trigonométrica:

$$\cos \theta = (1 - \sin^2 \theta)^{1/2}$$

Podemos escribir esta ecuación como:

$$\cos \theta = (1 - (n_0/n_1)^2 \sin^2 \theta_0)^{1/2} \sin \theta_0 \tag{1.42}$$

Si se combinan las ecuaciones (1.22) y (1.23) obtenemos:

$$(1 - (n_0/n_1)^2 \sin^2 \theta_0)^{1/2} = n_2/n_1 \tag{1.43}$$

Y al despejar  $\theta_0$ :

$$\sin^2 \theta_0 = (n_1^2 - n_2^2) / n_0^2 \tag{1.44}$$

Esto es,

$$\theta_0 = \sin^{-1} ((n_1^2 - n_2^2)^{1/2} / n_0) \tag{1.45}$$

Ya que:

$$n_2 = n_1 (1 - \Delta) \tag{1.46}$$

La ecuación (1.46) se puede escribir como:

$$\theta_0 = \sin^{-1} (n_1 (2\Delta - \Delta^2)^{1/2} / n_0) \tag{1.47}$$



Fig. 1.14 Rayos meridionales.

Si los ángulos de los rayos que inciden en el núcleo satisfacen esta ecuación, entonces el rayo sufrirá una reflexión total interna y se propagará a lo largo de la fibra. El máximo ángulo  $\theta_0$  que satisface la ecuación (1.10) se le llama *ángulo de aceptación en la fibra*. Si se excede este ángulo, entonces no ocurrirá la reflexión total interna, sino los rayos se internarán en el revestimiento.

**Rayos oblicuos:** A diferencia de los rayos meridionales, estos rayos siguen una trayectoria de forma helicoidal poligonal dentro del núcleo de la fibra, reflejándose también internamente. En la figura 1.15 se muestra un esquema de la trayectoria de los rayos oblicuos. Como puede observarse, definimos  $\theta$  como el ángulo entre BAC,  $\alpha$  es el ángulo entre OBC, y  $\phi$  que es el ángulo de incidencia entre ABO.

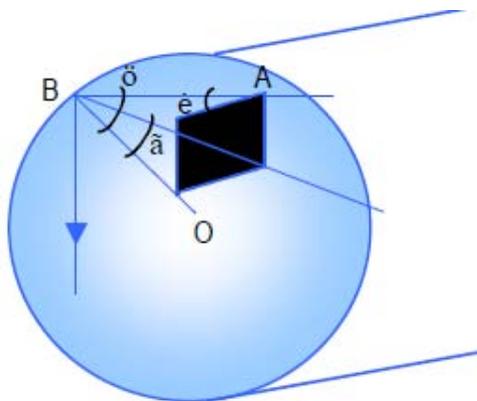


Fig. 1.15 Rayos oblicuos

La ecuación que relaciona a estos ángulos está dada por:

$$\text{Cos}\phi = \text{Sen}\theta \text{ Cos}\alpha \tag{1.48}$$

Que describe el mismo comportamiento para el rayo en cualquier punto de la fibra.

Para que ocurra una reflexión total interna se debe cumplir que:

$$\text{Sen } \theta = \text{Sen } \tilde{\alpha}_c \tag{1.49}$$

$$\text{Sen } \theta = n_2 / n_1 \tag{1.50}$$

Utilizando la misma desigualdad trigonométrica e introduciendo (1.49) en (1.50) obtenemos:

$$n_1 \text{Sen } \theta = \text{Cos } \tilde{\alpha} (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \tag{1.51}$$

La relación con la Ley de Snell es la misma que para el caso de rayos meridionales; por lo tanto, de la ecuación (1.51) se obtiene:

$$n_0 \text{Sen } \theta_0 = n_1 \text{Sen } \theta \tag{1.52}$$

Y sustituyendo en (1.52), el resultado es:

$$\begin{aligned} n_0 \text{Sen } \theta_0 \text{Cos } \tilde{\alpha} &= (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \\ \text{Sen } \theta_0 \text{Cos } \tilde{\alpha} &= (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} / n_0 \end{aligned} \tag{1.53}$$

Obsérvese en esta última ecuación que cuando  $\tilde{\alpha} = 0$ , se convierte en la ecuación (1.10), para rayos meridionales. En este tipo de rayos, el ángulo  $\theta$  depende de la condición de refracción de entrada, y su valor límite es cuando  $\theta_0 = 90^\circ$ .

Así, para valores de  $0 \leq \theta_0 \leq \theta_c$ ,  $\tilde{\alpha}$  puede tomar valores entre  $0 < \tilde{\alpha} < \theta/2$ , ya que si  $\tilde{\alpha} = 0$  se convierte en un rayo meridional, y si  $\tilde{\alpha} = \theta/2$  entonces el rayo viaja a lo largo de la frontera entre el núcleo y el revestimiento; de esta manera se cumplirá que:

$$\text{Cos } \tilde{\alpha}_{\min} = \text{Sen } \theta_c / \text{Sen } \theta \tag{1.54}$$

La siguiente figura nos es útil para encontrar la relación entre la distancia del plano donde está contenido el rayo hasta el eje de la fibra, y el radio de la misma fibra.

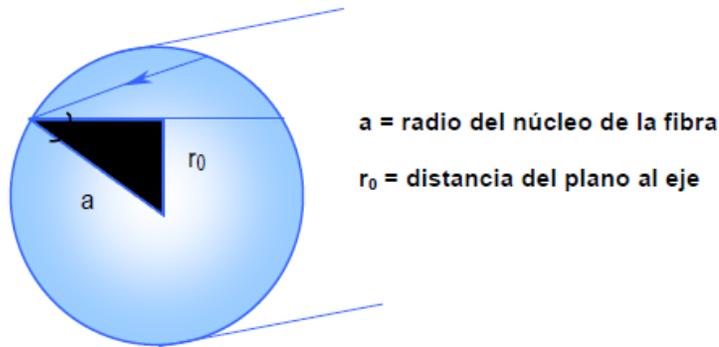


Fig. 1.16 Relación entre la distancia del plano al eje y el radio del núcleo de la fibra.

La relación que encontramos es  $\tilde{a} = a/r_0$ ; partiendo de esta relación, podemos combinar (1.53) y (1.54) para encontrar una ecuación que defina más claramente el ángulo crítico en rayos oblicuos;

Esto es:

$$\text{Sen } \theta_c (1 - (r_0/a)^2)^{1/2} = 1/n_1 (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \tag{1.55}$$

**Fibras de índice gradual:** En esta fibra, el índice de refracción del núcleo va decreciendo gradualmente en función del radio, hasta llegar al revestimiento. Debido a que el índice de refracción del núcleo decrece, los rayos de luz se van flexionando gradualmente regresando al centro del núcleo como se observa en la figura 1.17, donde  $a$  es el radio del núcleo.

Esto explica la razón por la que en este tipo de fibra la atenuación es menor, comparada con la fibra escalonada, donde el cambio en el índice de refracción es mucho más brusco.

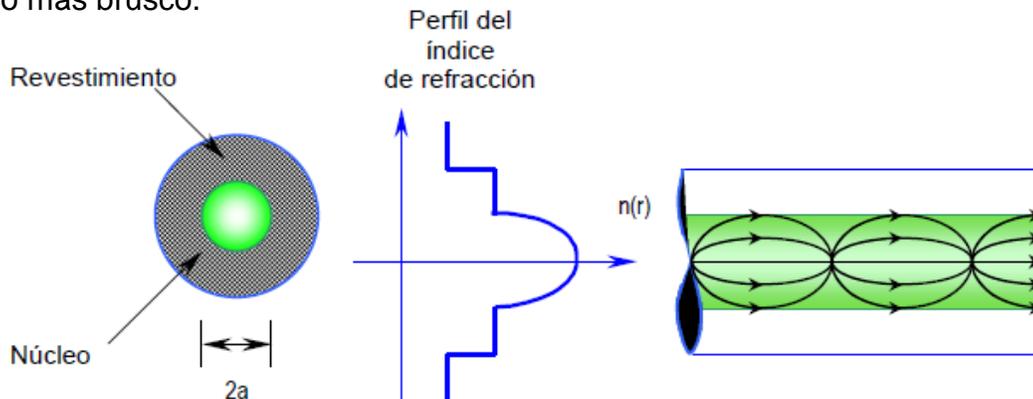


Fig. 1.17 Fibra de índice gradual.

En las fibras de índice escalonado hay un pequeño retardo entre los rayos que inciden en la fibra paralelos al eje y aquellos que lo hacen con un cierto ángulo, debido a la diferencia de distancia recorrida. Para solucionar este problema se diseñaron fibras con un núcleo cuyo índice de refracción vaya decreciendo gradualmente desde el eje hasta la frontera con el revestimiento, provocando que las sucesivas refracciones hacia el eje del núcleo hagan que ambos rayos coincidan en tiempo. Es cierto que la trayectoria que recorren los rayos que inciden con diferentes ángulos es más larga, pero debido a que su velocidad es mayor en las regiones donde el índice de refracción es menor, compensa al recorrido haciendo que lleguen casi al mismo tiempo que los rayos axiales.

En este caso, es necesario establecer un sistema de coordenadas cilíndricas y encontrar al camino óptico recorrido por el rayo, tomando en cuenta la variación del índice de refracción en la fibra.

La ecuación que rige el camino de un rayo meridional en coordenadas cilíndricas es:

$$Z = \int_{r_0}^r (\cos \theta_0 dr) / ([n(r)/n_0]^2 - \cos^2 \theta_0)^{1/2} \quad (1.56)$$

Donde el índice de refracción varía de acuerdo a la siguiente distribución cuadrática:

$$n(r) = n(0) [1 - 2(r/a)^2]^{1/2} \quad (1.57)$$

Sustituyendo (1.37) en (1.38):

$$Z = \int_{r_0}^r (\cos \theta_0 dr) / (n(0) [1 - 2(r/a)^2]^{1/2} / n_0^2 - \cos^2 \theta_0)^{1/2}$$

E integrando y resolviendo para r obtenemos:

$$r = a n_0 \cos \theta_0 / (2)^{1/2} [1 / \cos^2 \theta_0]^{1/2} [1 - 2(r_0/a)^2]^{-1/2} [(2)^{1/2} / n_0 \cos \theta_0 (Z/a)] \quad (1.58)$$

Donde el período del rayo está dado por:

$$\hat{\delta} = 2\delta a \cos \hat{\epsilon}_o / (2)^{1/2} [1 - 2 (r_o/2)^2]^{1/2} \tag{1.59}$$

El hecho de que  $\hat{\delta}$  dependa de  $r_o$  y  $\hat{\epsilon}_o$  indica que es diferente para cada rayo de entrada. Las fibras ópticas de índice gradual actúan como si estuvieran constituidas por “n” lentes paralelos entre sí, que van enfocando periódicamente los rayos que se propagan a lo largo de la fibra.

### 1.2.3 Fibra monomodo

Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño, que sólo permite un modo de propagación, su transmisión es en línea recta. Su distancia va desde 2.3 km. a 100 km. máximo y usa cañón láser de alta intensidad. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias y transmitir elevadas tasas de bits.

La siguiente figura muestra los modos de transmisión de la fibra:

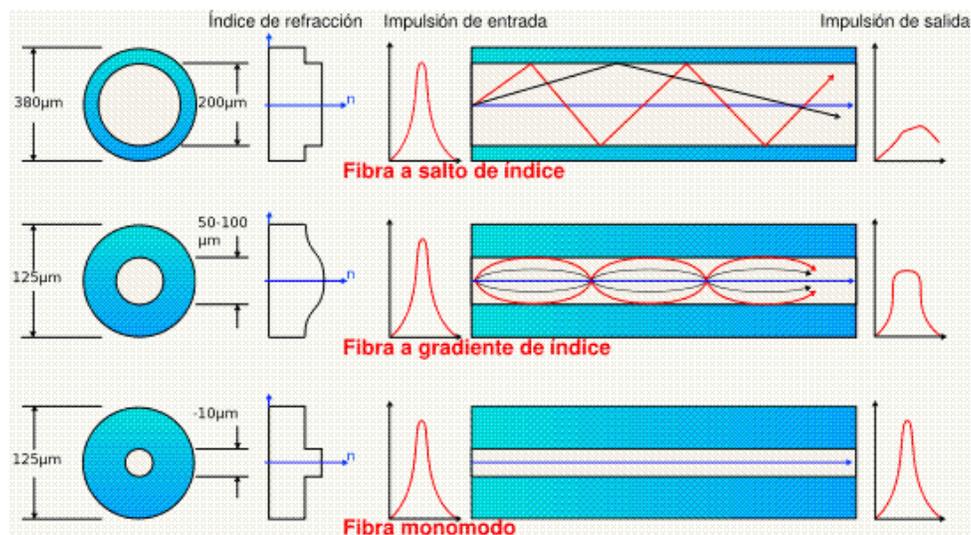


Fig.1.18 Modos de transmisión de la fibra

Tabla 1.2 Comparación de fibras ópticas según el modo de propagación.

CARACTERÍSTICAS	MÓDOS DE LA FIBRA ÓPTICA		
	UNIMODO	MULTIMODO	
		INDICE ESCALONADO	INDICE GRADUAL
Diámetro del núcleo [i m]	8	40-100	40-100 50 (tip)
Diámetro del revestimiento [i m]	125	125	125
Diferencia del índice de refracción absoluto [%]	0.1-0.3	0.8-3.0	0.8-1.5
Ancho de banda de la frecuencia de banda base [GHz-Km]	>10	0.01-0.05	MHz-Km
Facilidad de empalme - exactitud necesaria [i m] -	difícil (0.1)	sencillo (1)	sencillo (1)

**Ventanas:** Las fibras ópticas presentan una menor atenuación (pérdida) en ciertas porciones del espectro lumínico, las cuales se denominan ventanas y corresponden a las siguientes longitudes de onda ( $\lambda$ ) expresadas en nanómetros:

- Primera ventana 800 a 900 nm ( $\lambda$ )<sub>utilizada</sub> = 850nm
- Segunda ventana 1250 a 1350 nm ( $\lambda$ )<sub>utilizada</sub> = 1310nm
- Tercera ventana 1500 a 1600 nm ( $\lambda$ )<sub>utilizada</sub> = 1550nm

### 1.3 Índice de refracción

En la actualidad, sabemos que la velocidad de fase de la luz en el espacio libre es de:  $C = 3 \times 10^8$  m/s Por lo tanto podemos definir el índice de refracción ( $\eta$ ) como la relación que existe entre las velocidades de la luz, al desplazarse en el vacío y en la materia.

La expresión es:  $\eta = c/v$

$\eta$  = índice de refracción.

$c$  = vel. de la luz en el vacío.

$v$  = vel. de la luz en otro medio.

Tabla 1.3 Índice de Refracción

Índices de refracción	Descripción
$\therefore \eta_0 \eta_1 \eta_2$	Son los índices de refracción del aire, núcleo y revestimiento de la fibra, respectivamente.
$\theta_i$ $\theta_R$	Son los ángulos e entrada y refracción de rayo, respectivamente.
Sen	Función trigonométrica tomada con respecto al eje ficticio de la Fibra Óptica.

**Reflexión:** Fenómeno por el cual una onda que se propaga por un medio e incide sobre otro medio diferente, bajo ciertas características, retorna al primero.

En la figura 1.19 mostramos la reflexión a la entrada de la Fibra Óptica, donde  $\theta_i$  (ángulo de incidencia) es igual a  $\theta_r$  (ángulo de reflejancia)

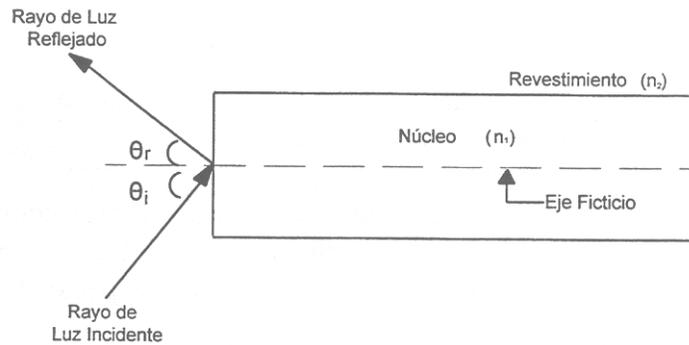


Fig. 1.19 Reflexión de la fibra óptica

Como se podrá observar este fenómeno causa que la mayor cantidad de luz sea lanzada fuera del núcleo de la Fibra Óptica, el cual no es el objetivo.

Los ángulos que forman el rayo incidente y el reflejado con la normal a la superficie de separación de los dos medios son iguales.

**Refracción:** Fenómeno que se produce por el cambio abrupto en la dirección de propagación de una onda (acústica o electromagnética) al pasar oblicuamente de un medio a otro en el cual la velocidad de propagación es diferente, por ejemplo, se dobla un rayo luminoso que atraviesa oblicuamente la superficie de separación de dos medios transparentes distintos, como el aire, el agua o el vidrio; y cambia de dirección al atravesar la superficie que separa dos

masas de distintos índices de refracción.

**Fenómenos:** Este fenómeno es el más importante desde el punto de vista de entrada de luz al núcleo de la Fibra Óptica.

En la figura 1.20 podemos observar que la refracción ayudará a introducir la mayor cantidad de luz al núcleo de la fibra, lográndose esto con ángulos pequeños de los rayos que llegan al núcleo, con respecto al eje ficticio de la fibra.

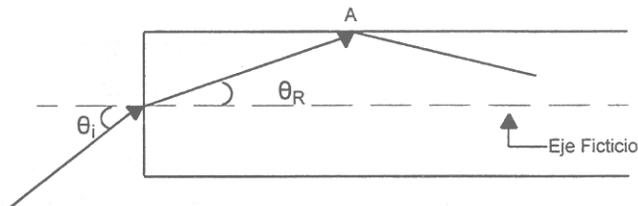


Fig.1.20 Refracción.

### 1.3.1 Ley de Snell

La ley de Snell es una relación trigonométrica que nos permite evaluar el ángulo de entrada adecuado, en función de los índices de refracción ( $\eta_0, \eta_1, \eta_2$ ) para lograr la refracción y la reflexión total interna del rayo de luz.

A continuación mostramos la ley de Snell:

A continuación mostramos la ley de Snell:

$$\eta_0 \text{ Sen } \theta_1 = \eta_1 \text{ Sen } \theta_2 \quad (1.60)$$

**Diagrama:** El fenómeno de reflexión total se repite si el índice de refracción en todo el núcleo de la fibra es el mismo. De este modo el rayo llegará al final de la fibra con el mismo ángulo con que incidió en ella.

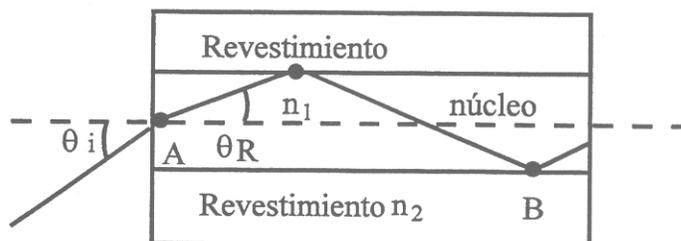


Fig. 1.21 Reflexión total en la fibra óptica.

- A.) Punto de refracción
- B.) Puntos de reflexión total.

**Reflejancia:** Por otra parte si existe un ángulo grande de incidencia, tendremos un rebote total del rayo de luz conocido como reflejancia®, dado ésta por la siguiente expresión.

$$R = \left( \frac{\eta_1 - \eta_0}{\eta_1 + \eta_0} \right)^2 \tag{1.61}$$

Existe una condición práctica a considerar, R deberá ser menor o igual al 4% del 100% del rayo de la luz de entrada.

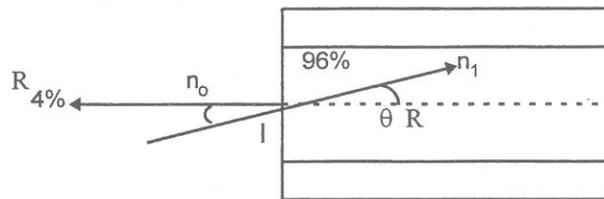


Fig. 1.22 Efecto de reflejancia.

### 1.3.2 Apertura numérica

La apertura numérica es un parámetro que indica la cantidad de luz que puede entrar y transmitirse dentro de la fibra óptica con reflexión total. Si el ángulo de incidencia está dentro del cono de aceptación, entonces podemos garantizar que la luz podrá viajar dentro de la fibra por medio de reflexiones hasta el final, presentando mínima atenuación. Esto nos garantiza que la información llegará a su destino con buena calidad y potencia aceptable.

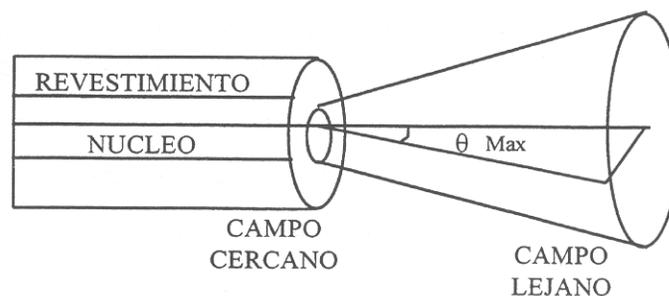


Fig. 1.23 Apertura Numérica

La apertura numérica (AN) es un parámetro muy importante a considerar, cuando se determinan pérdidas en la fibra, ya que es uno de los factores que contribuyen a incrementarla.

$$AN = \eta_0 \text{ Sen } \theta \text{ max} \tag{1.62}$$

El tamaño del diámetro de la fibra determina la facilidad con la que la luz puede introducirse. La apertura numérica determina el cono de aceptación de luz, como se observa en la Fig. 1.24.

Las aperturas numéricas de las fibras ópticas del operador telefónico en nuestro país están por debajo de 0.30

### 1.4 Espectro óptico

La siguiente figura muestra el espectro óptico:

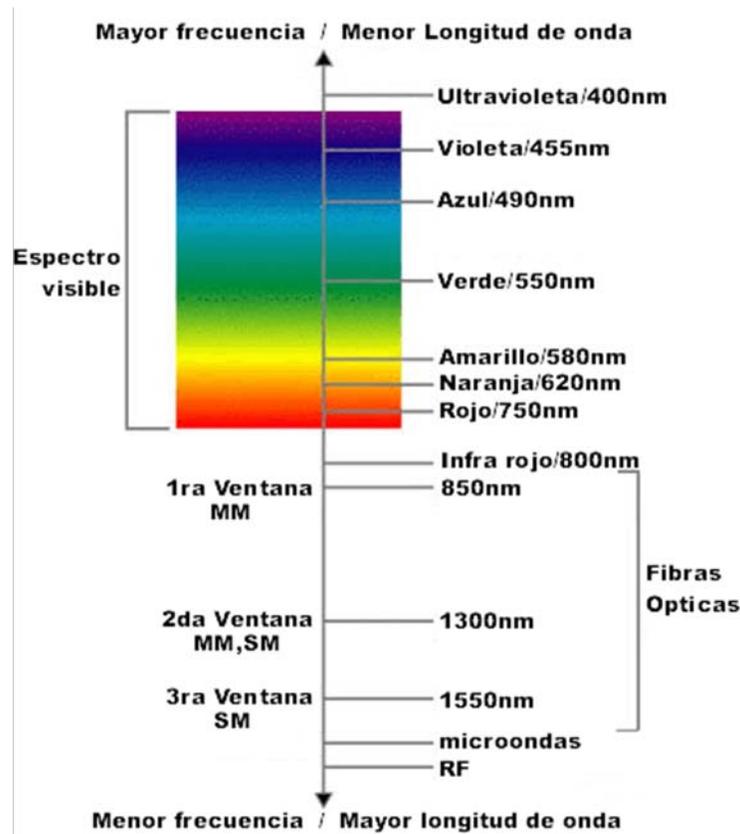


Fig. 1.24 Espectro óptico.

### Clasificación por dispersión

- Fibra óptica de dispersión desplazada
- Fibra óptica de dispersión desplazada no nula
- Fibra óptica compensadora de dispersión
- Fibra óptica mantenedora de polarización
- Fibra óptica de plástico

**Fibra óptica de dispersión desplazada (Dispersion-Shifted Fiber. DSF),** Mediante la modificación geométrica del perfil de índice de refracción, se puede conseguir desplazar la longitud de onda de dispersión nula a tercera ventana, surgiendo de este modo las fibras de dispersión desplazada. Sus pérdidas son ligeramente superiores (0,25 dB/km a 1550 nm), pero su principal inconveniente proviene de los efectos no lineales, ya que su área efectiva es bastante más pequeña que en el caso de la fibra monomodo estándar.

Luego este tipo de fibras no son en principio adecuadas para sistemas DWDM, ya que el fenómeno no lineal de mezclado de cuatro ondas (FWM) produce degradaciones significativas.

Este tipo de fibras se describe en la recomendación ITU G.653.

**Fibra óptica de dispersión desplazada no nula (Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber. NZDSF).** Para resolver los problemas de no linealidades de la fibra de dispersión desplazada surgieron este tipo de fibras, que se caracterizan por tener valores de dispersión cromática reducidos pero no nulos.

En el mercado se pueden encontrar fibras con valores de dispersión tanto positivos (NZDSF+) como negativos (NZDSF-), con el fin de ser utilizadas en sistemas de gestión de dispersión. En la recomendación ITU G.655 se puede encontrar información sobre este tipo de fibras. Algunos ejemplos de este tipo de fibras serían: LEAF (Corning), True-Wave (Lucent) y Teralight (Alcatel).

**Fibra óptica mantenedora de polarización (Polarization-Maintaining Fiber PMF)**

Es otro tipo de fibra monomodo que se diseña para permitir la propagación de una única polarización de la señal óptica de entrada. Se utiliza en el caso de dispositivos sensibles a la polarización, como por ejemplo moduladores externos de tipo Mach-Zehnder. Su principio de funcionamiento se basa en introducir deformaciones geométricas en el núcleo de la fibra durante el proceso de fabricación para conseguir un comportamiento birrefringente.

**Fibra óptica compensadora de dispersión (Polarization-Maintaining Fiber PMF).**

Es otro tipo de fibra monomodo que se diseña para permitir la propagación de una única polarización de la señal óptica de entrada. Se utiliza en el caso de dispositivos sensibles a la polarización, como por ejemplo moduladores externos de tipo Mach-Zehnder. Su principio de funcionamiento se basa en introducir deformaciones geométricas en el núcleo de la fibra durante el proceso de fabricación para conseguir un comportamiento birrefringente.

**Fibra óptica de plástico (Plastic Optical Fiber, POF).** Las fibras ópticas de plástico constituyen una solución de bajo costo para realizar conexiones ópticas en distancias cortas, como por ejemplo en el interior de dispositivos, automóviles, redes en el hogar, etc. Se caracterizan por unas pérdidas de 0,1,5-0,2 dB/m a 650 nm (se suele emplear como transmisor un LED rojo) y por un ancho de banda reducido como consecuencia de su gran apertura numérica (diámetros del núcleo del orden de 1 mm), pero por otra parte ofrecen como ventajas un manejo e instalación sencillos y una mayor robustez.

Como ejemplo, las pérdidas que se producen son muy bajas con radios de curvatura de hasta 25 mm, lo que facilita su instalación en paredes y lugares estrechos. Además, avances recientes están propiciando mayores anchos de banda y distancias mayores.

**Fibra óptica de cristal fotónico** Recientemente surgió un nuevo tipo de fibras de sílice caracterizadas por una microestructura de agujeros de aire que se extiende a lo largo de la misma. Su inusual mecanismo de guiado, basado en el denominado guiado intrabanda, hace que presenten toda una serie de propiedades únicas que las diferencian de las fibras ordinarias.

Entre estas propiedades, destaca la posibilidad de construirlas con núcleos de tamaño muy pequeño para acrecentar los efectos no lineales, así como con bandas de propagación monomodo muy extensas. Además, la dispersión cromática de estas fibras puede ajustarse mediante el diseño adecuado de su geometría, o sea de su microestructura, pudiendo obtenerse valores inalcanzables con la tecnología de fibra óptica convencional.

**Fibras utilizadas en México por el operador dominante**, se tienen instaladas fibras NZDSF para aplicaciones WDM, y la actualización de las redes y las nuevas redes de fibra óptica se construyen utilizando fibras NZDSF-LEAF. La siguiente tabla muestra las fibras que se están utilizando:

Tabla 1.4 Fibras ópticas utilizadas en México por el operador telefónico mas conocida

CABLES DE FIBRA ÓPTICA UTILIZADOS EN TELMEX			
TIPO Telmex	Tipo UIT-T	USO	DISPERSION
TM-1	G.652	Subterráneo	NORMAL (SMF-28)
TM-3	G.652	Interior	NORMAL (SMF-28)
TM-4	G.652	Directamente Enterrado	NORMAL (SMF-28)
TM-5	G.653	Aéreo	CORRIDA (DSF)
TM-6	G.652	Aéreo	NORMAL (SMF-28)
TM-7	G.653	Subterráneo	CORRIDA (DSF)
TM-8	G.653	Directamente Enterrado	CORRIDA (DSF)
TM-10	G.653	Interior	CORRIDA (DSF)
TM-11	G.655	Subterráneo	NO CERO (NZDSF) LS
TM-12	G.655	Interior	NO CERO (NZDSF) LS
TM-13	G.655	Subterráneo	NO CERO (NZDSF) LEAF
TM-14	G.655	Interior	NO CERO (NZDSF) LEAF
TM-15	G.655	Aéreo	NO CERO (NZDSF) LEAF
TM-16	G.655	Directamente Enterrado	NO CERO (NZDSF) LEAF

**Fibra NZDSF:** La NZDSF (Non Zero Dispersion-Shifted Fiber) Fibra de dispersión corrida no-cero. La dispersión cromática tiene que ser mayor que algún valor diferente de cero en toda la gama de longitudes de onda de la utilización prevista.

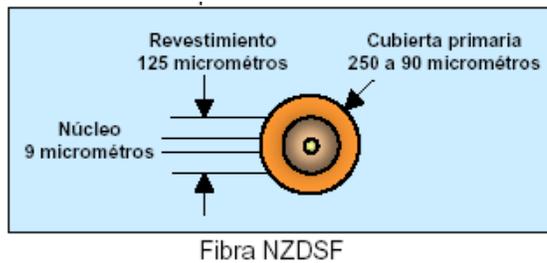


Fig. 1.25 Fibra NZDSF

**Fibra NZDSF LEAF:** La NZDSF LEAF (Large Effective Area Fiber) es del fabricante Corning para redes de larga distancia en aplicaciones de alta capacidad y velocidad. Combina la baja atenuación y baja dispersión con una área efectiva de 32% más grande que las fibras convencionales NZDSF. La siguiente figura muestra la diferencia de ambas fibras.

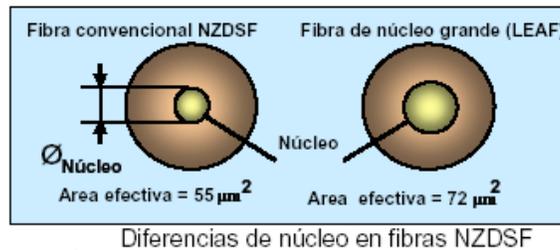


Fig. 1.26 Comparación de núcleos

**Normal Vs. Corrida:** La siguiente tabla muestra las características de fibras de dispersión normal y corrida.

Tabla 1.5 Características de las fibras SMF-28 y SMF/DS

Característica	Tipo de fibra monomodo	
	SMF-28 (TM-1, TM-3, TM-4, TM-6)	SMF/DS (TM-5, TM-7, TM-8, TM-10)
Dispersión	18 ps/nm-Km	5 ps/nm-Km
Área efectiva	80 $\mu\text{m}^2$	55 $\mu\text{m}^2$
Atenuación a 1310 nm	< 0.40 dB/Km	< 0.35 dB/Km
Atenuación a 1550 nm	< 0.30 dB/Km	< 0.25 dB/Km
Diámetro de modo de propagación a 1310 nm	9.3 $\mu\text{m}$	
Diámetro de modo de propagación a 1550 nm	10.5 $\mu\text{m}$	8.1 $\mu\text{m}$
Longitud de onda de dispersión cero	1310	1550
PMD en fibra	0.2 ps/ $\sqrt{\text{Km}}$ Max. 0.1 ps/ $\sqrt{\text{Km}}$ Enlace	0.5 ps/ $\sqrt{\text{Km}}$ Max.

**Fibras de dispersión no cero:** Las características de fibras de dispersión no cero se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1.6 Características de Fibra NZDSF-LS y LEAF.

Característica	Tipo de fibra monomodo	
	NZDSF-LS (TM-11, TM-12)	NZDSF-LEAF (TM-13, TM-14, TM-15, TM-16)
Dispersión	-0.1 a -3.5 ps/nm-Km sobre un rango de 1530 a 1560 nm.	2 a 6 ps/nm-Km para el rango de 1530 a 1565 nm. 4.5 a 11.2 ps/nm-Km para el rango de 1565 a 1625 nm -17.4 ps/nm-Km a 1310 nm
Área efectiva	55 $\mu\text{m}^2$	72 $\mu\text{m}^2$
Atenuación a 1310 nm	0.38 dB/Km	$\leq 0.34$ dB/Km
Atenuación a 1550 nm	< 0.25 dB/Km	$\leq 0.25$ dB/Km $\leq 0.25$ dB/Km a 1625 nm
Diámetro de modo de propagación a 1310 nm		6.67 $\mu\text{m}$
Diámetro de modo de propagación a 1550 nm	8.4 $\mu\text{m}$	9.2 a 10 $\mu\text{m}$
Longitud de onda de dispersión cero	diferente de 1550	diferente de 1550
PMD en fibra	0.2 ps/ $\sqrt{\text{Km}}$ Max. 0.08 ps/ $\sqrt{\text{Km}}$ Enlace	0.5 ps/ $\sqrt{\text{Km}}$ Max.

### 1.5 Láser

Para poder transmitir en una de estas ventanas de las fibras ópticas es necesaria una fuente de luz "coherente", es decir de una única frecuencia (o longitud de

onda), la cual se consigue con un componente electrónico denominado LD ó diodo LASER (Light Amplification by Estimulated Emision of Radiation). Este componente es afectado por las variaciones de temperatura por lo que deben tener un circuito de realimentación para su control.

La luz de un láser es muy diferente a la luz convencional y cuenta con las siguientes características:

- Monocromática. La luz emitida contiene una longitud de onda específica de luz (un solo color). La longitud de onda de la luz es determinada por la cantidad de energía liberada cuando un electrón cae a un nivel de órbita menor.
- Coherente. La luz liberada es “organizada” y todos los fotones se mueven al mismo paso. Esto quiere decir, que los fotones tienen el mismo frente de onda en el mismo tiempo.
- Direccional. La luz de un láser es un haz muy apretado, muy fuerte y concentrado.

La salida de un láser puede ser pulsada o puede ser un haz continuo. La luz puede ser visible, infrarroja, o ultravioleta, con potencia menor a la de un miliwat o con millones de watts de potencia.

La siguiente figura muestra la dos señales de dos diferentes láseres, una de ellas la de banda estrecha (DFB) es la usada en los sistemas DWDM.

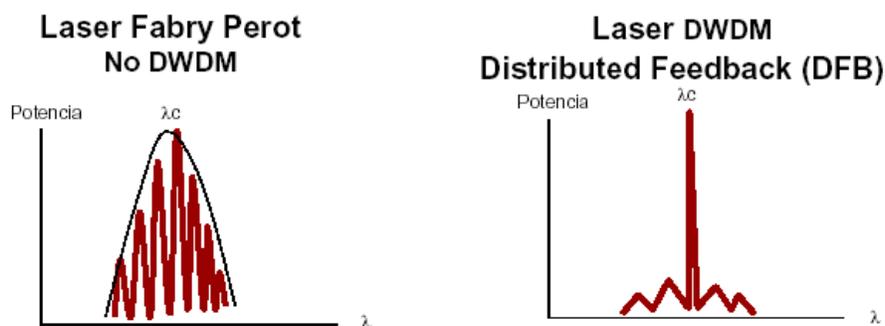


Figura 1.27 Láseres Fabry Perot y DFB.

**Láseres:** La siguiente tabla muestra las características de algunos transmisores con láser. Distributed Feedback Laser DFB, Feedback Laser FP.

Tabla 1.7 Características de los láseres FP Y DFB

Transmisores					
Transmisor	FP laser	DFB laser	DFB laser	DFB laser	DFB laser
Longitud de onda	1310 nm	1310 nm	1310 nm	1550 nm	1471 nm to 1611 nm @ 20 nm +/-6.5 nm
Maxima potencia	-3 dBm	0 dBm	+3 dBm	+3 dBm	+5 dBm
Minima potencia	-10 dBm	-5 dBm	-2 dBm	-2 dBm	0 dBm
Ancho del espectro	4 nm (RMS)	1 nm (-20 dB)			
Minima parte del radio de supresion	-	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB

**Diodo:** Diodo emisor de luz, también conocido como LED (acrónimo del ingles de *Light-Emitting Diode*) es un dispositivo semiconductor (diodo) que emite luz coherente de espectro reducido cuando se polariza de forma directa la unión PN del mismo y circula por él una corriente eléctrica. Este fenómeno es una forma de electroluminiscencia.

El color (longitud de onda), depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo y puede variar desde el ultravioleta, pasando por el visible, hasta el infrarroja. Los diodos emisores de luz que emiten luz ultravioleta también reciben el nombre de UV LED (*UltraViolet Light-Emitting Diode*) y los que emiten luz infrarroja suelen recibir la denominación de IRED (*Infra-Red Emitting Diode*).

En corriente continua (CC), todos los diodos emiten una cierta cantidad de radiación cuando los pares electrón-hueco se recombinan, es decir, cuando los electrones *caen* desde la banda de conducción (de mayor energía) a la banda de valencia (de menor energía). Indudablemente, la frecuencia de la radiación emitida y, por ende, su color, dependerá de la altura de la banda prohibida (diferencias de energía entre las bandas de conducción y valencia), es decir, de los materiales empleados.

Los diodos convencionales, de silicio o germanio, emiten radiación infrarroja muy alejada del espectro visible. Sin embargo, con materiales especiales pueden conseguirse longitudes de onda visibles. Los LED e IRED, además tienen geometría especial para evitar que la radiación emitida sea reabsorbida por el material circundante del propio diodo, lo que sucede en los convencionales.

Compuesto	Color	Long. de onda
Arseniuro de galio (GaAs)	Infrarrojo	1600 nm 940nm
Arseniuro de galio y aluminio (AlGaAs)	Rojo e infrarrojo	890nm
Arseniuro fosfuro de galio (GaAsP)	Rojo, naranja y amarillo	630nm
Fosfuro de galio (GaP)	Verde	555nm
Nitruro de galio (GaN)	Verde	525nm
Seleniuro de zinc (ZnSe)	Azul	
Nitruro de galio e indio (InGaN)	Azul	450nm

Tabla 1.8 Longitud de onda Diodos emisores

### 1.5.1 Receptores ópticos

El propósito del receptor óptico es extraer la información contenida en la portadora óptica que incide en el fotodetector. En los sistemas de transmisión analógica el receptor debe amplificar la salida del fotodetector y después demodularla para obtener la información. En los sistemas de transmisión digital el receptor debe producir una secuencia de pulsos (unos y ceros) que contienen la información del mensaje transmitido.

**Fotodetector:** Convierte la potencia óptica incidente en corriente eléctrica, esta corriente es muy débil por lo que debe amplificarse. Las características principales que debe tener son:

- Sensibilidad alta a la longitud de onda de operación
- Contribución mínima al ruido total del receptor

- Ancho de banda grande (respuesta rápida)

Existen dos tipos de fotodetectores PIN y APD

**Fotodetectores PIN:** Genera un solo par electrón-hueco por fotón absorbido. Son los más comunes y están formados por una capa de material semiconductor ligeramente contaminado (región intrínseca), la cual se coloca entre dos capas de material semiconductor, una tipo N y otra tipo P.

Cuando se le aplica una polarización inversa al fotodetector, se crea una zona desértica (libre de portadores) en la región intrínseca en la cual se forma un campo eléctrico. Donde un fotón en la zona desértica con mayor energía o igual a la del material semiconductor, puede perder su energía y excitar a un electrón que se encuentra en la banda de valencia para que pase a la banda de conducción. Este proceso genera pares electrón–hueco que se les llama fotoportadores.

La siguiente figura muestra un diodo PIN.

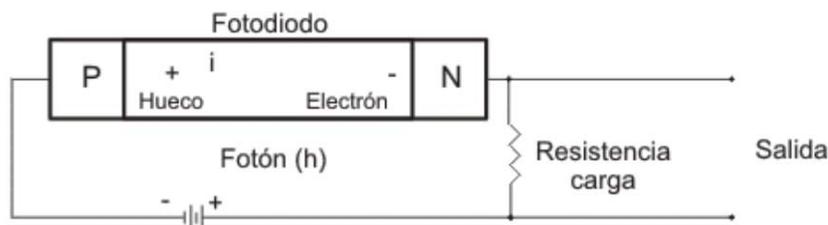


Figura 1.28 Estructura del Diodo PIN.

**Fotodetectores de avalancha APD:** Presenta ganancia interna y genera más de un par electrón-hueco, debido al proceso de ionización de impacto llamado ganancia de avalancha. Cuando a un fotodetector se le aumenta el voltaje de polarización, llega un momento en que la corriente crece por el fenómeno de avalancha, si en esta región se controla el fenómeno de avalancha limitando la corriente (antes de la destrucción del dispositivo), la sensibilidad del fotodetector se incrementa.

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

La siguiente figura representa un diodo de avalancha.

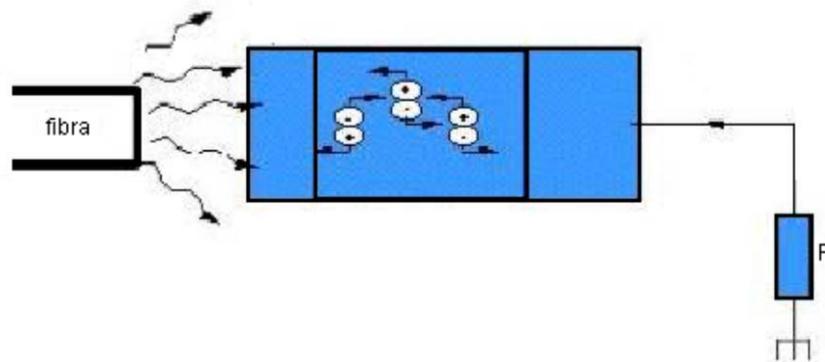


Figura 1.29 Diodo de Avalancha.

**Detectores:** La siguiente figura muestra la comparación de dos detectores (receptores) ópticos, un APD y un PIN.

Tabla 1.9 Características de los detectores PIN y APD.

DETECTORES OPTICOS

Veloc. de Transm. (Mbps)	565	140	34
Sensibilidad PIN (dBm)	-37	-45,5	-49
Sensibilidad APD (dBm)	-42	-49	-56

## **Capítulo 2**

### **Fibra hasta el Hogar (FTTH)**

En este capítulo se pondrá de manifiesto la penetración de la tecnología de las fibras ópticas en el sector de las comunicaciones. Esta penetración se basa en sus propiedades relativas a la transmisión de señales, en el desarrollo tecnológico conseguido hasta la fecha y en la competitividad de los precios de las instalaciones a base de fibra.

En este momento, la tecnología de las fibras se encuentra plenamente consolidada y resulta altamente competitiva frente a los demás sistemas de portadores en el campo de las comunicaciones en las redes de enlaces y, si se siguen abaratando los costos de los componentes E/O, la demanda de servicios que sólo la fibra óptica puede soportar se disparará. Según todos los pronósticos, esto va a ocurrir dentro de muy poco tiempo.

Desde el desarrollo de la fibra óptica, las telecomunicaciones a través de esta, las computadoras personales y e Internet, nuestras vidas han sido dominadas por el consumo de ancho de banda.

A pesar de que muchos de nosotros no nos damos cuenta, las actividades diarias hoy consideradas triviales, consumen una cantidad significativa de ancho de banda, la aparición y la gran demanda del uso de Internet en los 1990s, cambió los fundamentos naturales del diseño y uso de las redes.

Antes de ese tiempo, el enfoque principal de los proveedores de servicio era el incremento de la utilización de los enlaces telefónicos, multiplexando varios enlaces de baja velocidad dentro de enlaces de fibra óptica de muy alta capacidad.

Las compañías telefónicas han invertido grandes sumas para construir estas redes, hasta el punto de distribución. Más allá de ese punto, las conexiones hasta las instalaciones del usuario son enlaces de cobre de baja velocidad.

Estos enlaces son llamados la red de acceso.

Inicialmente, los clientes finales utilizaban solamente la línea telefónica, fax o modems dial-up, para los cuales el acceso a través de la red de cobre era suficiente.

Este escenario cambió con la llegada de computadoras personales de alta velocidad y capacidad, las cuales crearon una gran demanda de ancho de banda para nuevas aplicaciones y servicios, cada una ejecutándose a velocidades de varios megabits por segundo.

Entre estas aplicaciones, se encuentra el video bajo demanda, los medios de flujo continuo, los circuitos privados virtuales, la transferencia de imágenes de alta resolución, y el entretenimiento en línea.

### **2.1 Nuevas necesidades en las comunicaciones**

Los sistemas ópticos se aplicaron en primer lugar para solucionar los problemas existentes en las comunicaciones públicas (necesidad de frecuencias más altas en la explotación, saturaciones de las redes urbanas en ciudades de gran número de habitantes, etc.), aprovechando las cualidades propias de las fibras (ancho de banda mayor que el de los portadores metálicos, poco volumen, etc.).

Los primeros sistemas comerciales aparecieron alrededor de 1977.

Comprendían emisores LED o láser, fibras multimodo de salto de índice o índice gradual, trabajando en primera ventana, y fotodetectores de silicio. Las separaciones entre repetidores eran pequeñas, tanto por la alta atenuación de las fibras existentes como por el pequeño ancho de banda intermodal (no más de 50 MHz, Km), con lo que los primeros sistemas de comunicaciones de esta

tecnología no excedían de las velocidades correspondientes a la tercera jerarquía digital (34 Mb/s en Europa).

La segunda generación de fibras apareció en el mercado hacia 1984. El hecho de encontrar más bajas atenuaciones en la zona de 1300 nm, la fabricación de fibras monomodo, el avance tecnológico en la fabricación de emisores a base de diodo s láser y la aparición de fotodiodos APD, de mayor sensibilidad que los anteriores, permitieron velocidades de transmisión situadas en la cuarta jerarquía digital (140 Mb/s), con distancias de repetición del orden de 30 Km.

La tercera generación, que comprende la mayor parte de los sistemas en servicio, opera con sistemas de hasta 565 Mb/s y secciones de regeneración típicas de 50 Km en segunda o tercera ventanas sobre fibras optimizadas. Se trabaja actualmente sobre emisores de espectro estrecho para adaptarlos a fibras en tercera ventana y trabajar con velocidades de 1,2 o 1,7 Gb/s, manteniendo la distancia entre repetidores, lo que permite aumentar la capacidad de los sistemas con modificaciones mínimas de la planta instalada.

### **2.1.1 La fibra en las redes urbanas de enlaces**

Precisamente las limitadas prestaciones de las fibras en sus primeros años de explotación obligaron a utilizarlas en las redes de enlaces entre centrales urbanas para el servicio telefónico, donde no se necesitan grandes anchos de banda. Además, la limitación impuesta por la alta atenuación de las primeras fibras no constituía obstáculo por tener longitudes normalmente inferiores a las necesarias para ubicar una sección de regeneración: las distancias medias entre centrales urbanas son de unos 4 Km en Europa, lo que permite cubrirlas trabajando sin regeneración incluso en la primera ventana.

En los casos de localidades periféricas a las grandes ciudades, se precisa trabajar en los 1300 nm, lo que hace perfectamente posible con las fibras monomodo, que, en vista de la caída de los precios y de las notables mejoras que incorporan con respecto a las multimodo, prácticamente son las únicas que se usan para estas

aplicaciones. En cuanto a la velocidad de transmisión utilizada, los sistemas que se instalan en este momento son de 565 Mb/s, aunque la mayoría de los que están en explotación son de 140 Mb/s; esta velocidad es suficiente para soportar un canal analógico de televisión. En el aspecto de planificación de una red urbana a base de fibras, es importante el hecho de que la gran capacidad obtenida permite disminuir el grado de mallado de una red clásica, e incluso acudir a la construcción de anillos.

Una ventaja adicional de que gozan las fibras ópticas en las redes urbanas es el magnífico aprovechamiento de las canalizaciones actuales por donde discurren los cables de pares metálicos, que normalmente están saturadas; los cables de fibras (normalmente de 32 o 64, y últimamente de 128 fibras) se tienden en subconductos de PVC de unos 30 mm de diámetro, en número de tres o cuatro y unidos entre sí por sus generatrices, y se alojan a su vez en los subconductos de hormigón o de PVC de las canalizaciones urbanas, cuyos diámetros medios oscilan entre 100 y 150 mm.

De cada grupo de subconductos se suele dejar uno libre como reserva o para futuras ampliaciones. En cuanto a la composición de los cables, es variable; normalmente, sin embargo, se equipan con pares metálicos para utilizarlos durante el tendido (como medio de comunicación entre operarios de cámaras de registro contiguas) y para las tareas posteriores de mantenimiento.

Las longitudes de tendido que se obtienen con estos cables son netamente superiores a las que resultarían de tratarse de cables metálicos, de pares o coaxiales, aunque vienen impuestas más por el número de curvas de las canalizaciones (particularmente en el casco antiguo de las ciudades) que por la longitud de las bobinas, que es de. 2000 a 3000 m. Con todo, las distancias medias entre empalmes en estas zonas está entre 300 y 500 m, llegándose en canalizaciones nuevas y con pocas curvas a los 2 Km.

En el caso de llegar a saturación de las canalizaciones existentes, una vez introducida la fibra puede recurrirse a la multiplexación en longitud de onda, que además permite tráfico bidireccional, con lo que se duplica la capacidad del sistema.

### **2.1.2 La fibra en las comunicaciones interurbanas**

Hasta hace muy pocos años había que plantearse en cada caso si era más rentable la instalación de una ruta interurbana a base de cables coaxiales o de fibras. En este momento no quedan dudas al respecto, en vista de la caída de los precios de los cables de fibra.

La longitud de los enlaces de estas redes es muy variable, dependiendo del tamaño del país y de que unan puntos extremos del mismo o de relativa proximidad. En Europa oscilan entre 50 y 1000 Km.

Precisamente estas distancias son las que hacen necesario el uso de regeneradores intermedios en la mayor parte de los casos. En los sistemas actuales de fibra monomodo con longitudes de onda de 1550 nm y velocidades de 140 Mb/s son normales longitudes de secciones de repetición de 50 Km, mientras que con velocidades de 565 Mb/s se alcanzan los 80 Km, lo que permite ubicar esos repetidores en centrales existentes a lo largo de la ruta, evitando así en muchos casos la necesidad de su tele alimentación.

Como en las instalaciones interurbanas no se aprovechan normalmente canalizaciones existentes, salvo en algún tramo concreto, lo normal es disponer el cable enfundado en un conjunto de dos o tres tubos flexibles de polietileno unidos y enterrar éstos.

Esta solución posibilita la ampliación posterior de la instalación, segregaciones de la ruta y tendido de una nueva fibra por avería de la inicial, pero, con respecto a los proyectos, plantea un problema económico que no existe en las redes urbanas,

en las que normalmente no es preciso hacer la inversión inicial en canalización, y exige una elección cuidadosa de las alternativas posibles frente a la amortización de las instalaciones. Estas alternativas son dos:

La primera es utilizar fibras estándar y prever diferentes longitudes de la sección de repetición en función de la velocidad de transmisión, lo que permite instalar cables sucesivos sin considerar las velocidades. Como lo habitual es que éstas sean cada vez mayores, la limitación del vano de repetición inicial no debería existir para las sucesivas instalaciones.

La segunda solución consiste en fijar los puntos de repetición para la primera instalación y mantenerlo para las sucesivas; precisamente por la razón antes apuntada, la planificación en este segundo caso debería ser mucho más cuidadosa y exigente en la instalación inicial, para no desperdiciar las posibilidades que el mercado ofrezca en el futuro.

En la planificación a largo plazo parece más rentable la primera alternativa.

En cuanto a las necesidades de mantenimiento y supervisión, se cubren mediante fibras específicas destinadas a este fin e incluidas dentro del mismo cable, o bien canalizando el telecontrol por las mismas fibras que soportan el tráfico; por ejemplo, mediante multiplexación.

En cualquier caso, es conveniente evitar el empleo de conductores metálicos, que aumentarían el peso del cable con la consiguiente reducción en la longitud de tramos de tendido.

### **2.1.3 La fibra óptica y las redes digitales**

Las redes configuradas con centrales analógicas clásicas para la conmutación de señales y portadores metálicos para transmisión son claramente insuficientes para cubrir todo el campo de aplicaciones de las comunicaciones no telefónicas,

aunque en su momento se complementaron con la adición de modems, que posibilitan el uso de la misma red para el envío de datos.

Las técnicas PCM de codificación digital de la voz, de aparición posterior, permitieron la transmisión de datos y señales de voz codificadas a una velocidad de 64 Kb/s a través de los portadores metálicos de las redes telefónicas, con la consiguiente reducción de costos, al permitir que por un único circuito se pudiesen transmitir 30 canales MDT de conversación equivalentes a una transmisión digital de 2048 Kb/s (24 canales en los sistemas PCM americanos).

Posteriormente se amplió la velocidad de transmisión a 140 Mb/s sobre cables coaxiales y fibras ópticas, y los sistemas actuales se explotan en 565 Mb/s prácticamente sólo con cables de fibra.

La aplicación de técnicas digitales en las redes conmutadas se lleva a cabo mediante matrices temporales y/o espaciales de conmutación albergadas en las centrales o nodos de la red, utilizando elementos semiconductores de alta densidad de integración (VLSI) y permitiendo la conjunción de los sistemas de transmisión y conmutación mediante programas almacenados en las centrales (SPC).

Estos elementos constituyen una red digital integrada (RDI), una de cuyas más importantes características es que son vehículos adecuados para la integración de diferentes servicios de voz y datos dentro de la misma red; todos los tipos de información (voz, datos, texto, etc.), una vez codificados pueden transmitirse como secuencias de bits y serán tratados del mismo modo.

Si tal ocurre estamos frente a una Red Digital de Servicios Integrados (RDSI), que, según la definición del UIT-T, es:

*"Una red que procede, por evolución, de una RDI telefónica, que proporciona conexiones digitales extremo a extremo capaces de soportar una amplia gama de servicios y a la que los usuarios acceden a través de un conjunto limitado de accesos normalizados".*

La primera generación de RDSI definida se basó en el establecimiento de conexiones digitales a 64 Kb/s.

Es un hecho evidente que la sociedad futura, particularmente los sectores de negocios y grandes empresas, demandarán una enorme variedad de servicios de comunicación, y también que una red como la que se acaba de definir, si bien conceptualmente puede atender cualquier servicio, no reúne las condiciones técnicas para poder hacerlo, porque la integración de los llamados servicios de banda ancha no es posible sobre portadores metálicos con velocidad de 64 Kb/s. Es por ello que el UIT-T ha definido dos nuevos tipos de canal:

- **H0**, a una velocidad de 384 Kb/s.
- **H121**, a 1920 Kb/s.

La RDSI que incorpora la capacidad de conmutación hasta 2Mb/s se llama RDSI de banda ancha, para diferenciarla de la que conmuta señales a 64 Kb/s, que suele llamarse RDSI de banda estrecha.

Pero todavía quedan servicios de banda ancha que exigen para su transmisión velocidades superiores a los 2 Mb/s:

- Canales de televisión.
- Videotelefonía.
- Transmisión de datos en redes de área local, etc.

Y es aquí donde la transmisión por fibras ópticas, con su inmenso ancho de banda, puede mostrar sus ventajas, tanto en el aspecto técnico como en el

económico, al menos en la parte de la red comprendida entre órganos de conmutación de la red pública y algún punto intermedio de repartición de servicios; es más incierta la situación, al menos de momento, Con la previsible red de abonados residenciales, dada la baja densidad de tráfico que generarían, ya que el coste de cableado y empalme de la fibra es aún elevado.

En el caso de abonados de tráfico más fuerte, tampoco la optoelectrónica de alta velocidad o la multiplexación resultan aún rentables, por lo que conviene minimizar los costos acudiendo a láseres de bajo coste o diodos LED, Y utilizando fibras multimodo, aunque, en vista de la disminución progresiva de los costos, no parece imprescindible recurrir a esta solución. Una solución temporal es la de utilizar portador metálico para la parte de red del abonado hasta que la sustitución sea económicamente viable.

Así, aunque las redes de banda ancha de usuario están tecnológicamente disponibles y se comienzan a instalar, deberán disminuir los costos más incidentes en estos sistemas (equipo de terminación de red de abonado, tramo terminal de fibra en la residencia del abonado con los medios necesarios para insertar y segregar, y equipos de central y terminal distante) para su desarrollo masivo a base de fibra óptica.

Estas nuevas demandas llevaron a la necesidad de reemplazar los accesos de cobre de baja velocidad con conexiones de mayor capacidad.

Para ello, se han desarrollado diversas tecnologías de banda ancha, cableada e inalámbrica. Estas incluyen las redes híbridas de fibra-coaxial, la tecnología DSL, WiMax, y esquemas de enlaces pasivos de fibra óptica.

La figura 2.1 muestra, de manera gráfica, estas soluciones del mercado de acceso, junto con su velocidad de trabajo.

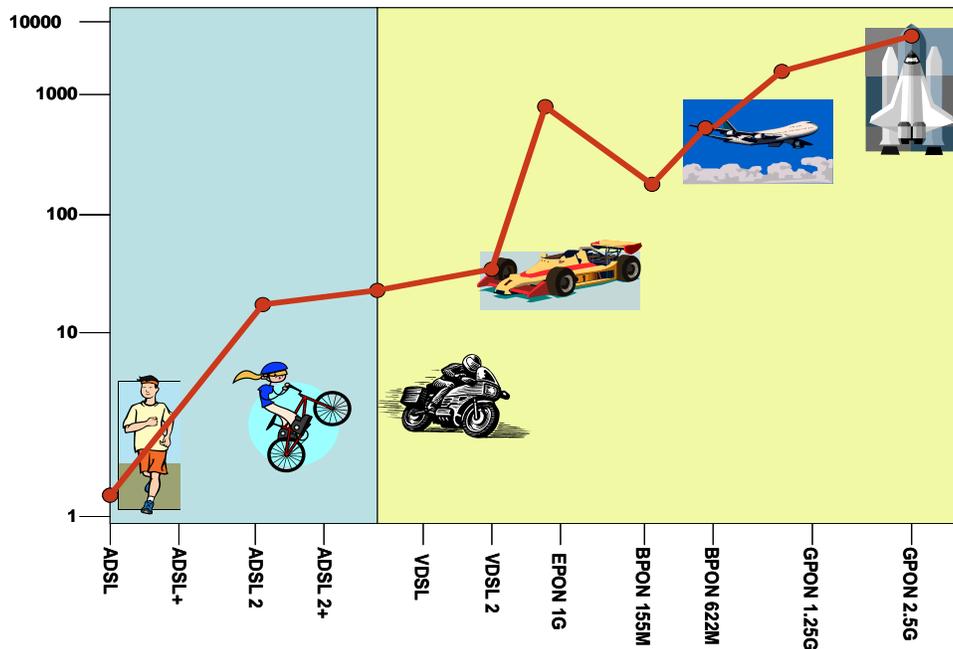


Fig. 2.1 Tecnologías de Acceso.

## 2.2 Red Híbrida Fibra-Coaxial

El uso de la combinación de fibra óptica con cable coaxial, se conoce como sistema Híbrido Fibra-Coaxial, HFC, (*Hybrid Fiber-Coaxial*), esquema que se implementa por las compañías de CATV.

Las redes HFC se desarrollan en diferentes partes de la red de acceso, para transportar Video, Voz y Datos.

Como se muestra en la figura 2.2, la compañía de CATV instala un cable de fibra óptica desde su nodo principal, headend<sup>1</sup>, hacia los nodos de servicio, los cuales están localizados cerca de los usuarios residenciales.

En este punto, las señales ópticas se convierten en señales eléctricas, las cuales viajan a través de cable coaxial hasta cada uno de los usuarios. En los sistemas

<sup>1</sup> **headend (cabecera de cable)** Lugar en un sistema de cable o red de banda ancha coaxial donde se origina la programación y comienza la red de distribución. Normalmente, las señales se reciben por aire, procedentes de satélites, y se transmiten mediante microondas o cables de fibra óptica en la cabecera de cable para su distribución. [http://www.publiboda.com/publicidad/publifaq/1\\_186\\_es.html](http://www.publiboda.com/publicidad/publifaq/1_186_es.html)

HFC, los términos *forward* y *reverse*, (o *retorno*), se utilizan para referirse a las direcciones de bajada y subida, respectivamente.

Los cables coaxiales en la red permiten el transporte de la información de banda ancha en distancias de varias decenas de kilómetros. La atenuación en esas distancias se compensa utilizando amplificadores de RF poco costosos.

Para conectar un nuevo usuario, se utiliza un simple conector T.

Para acceder a los servicios de la red, el cliente utiliza un Modem relativamente barato, que se conecta al cable y separa internamente las señales de datos y de TV. La figura 2.3 muestra el espectro de frecuencias que se utiliza en la red HFC.

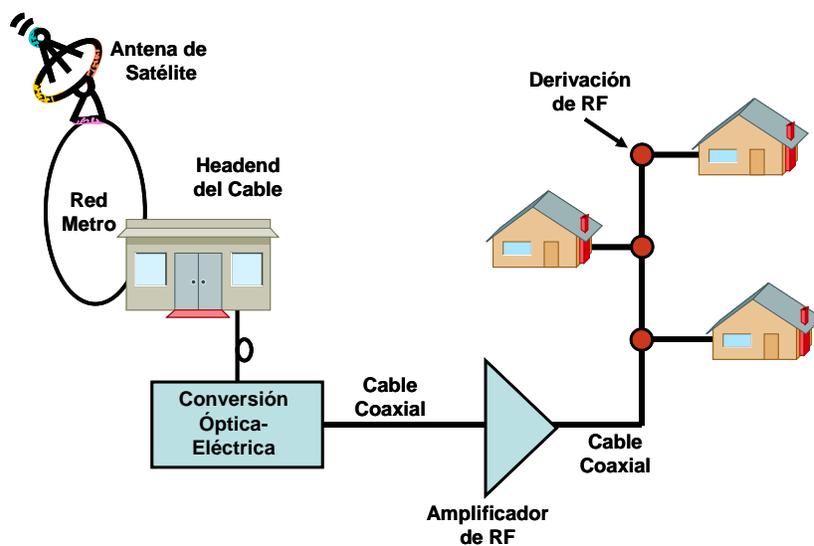


Fig. 2.2 Red HFC

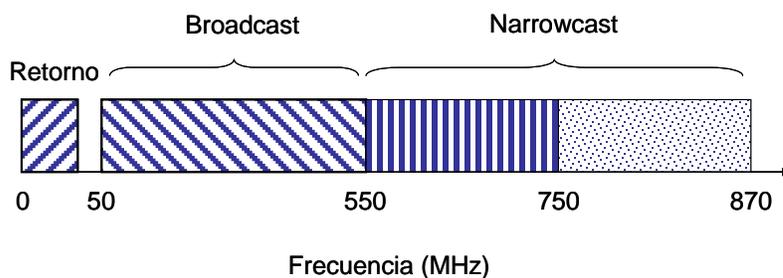


Fig. 2.3 Espectro de Frecuencias de HFC

La banda de 40MHz, de 5 to 45 MHz, se utiliza para transmitir información desde el usuario hacia el headend. El rango de 500 MHz, de 50 a 550 MHz se utiliza para

la distribución del video analógico. La banda que inicia en 550 MHz, ya sea hasta 750 u 870 MHz, dependiendo del sistema, se utiliza para HDTV o aplicaciones multimedia.

### **2.2.1 DSL (siglas de Digital Subscriber Line, "línea de suscripción digital")**

A pesar de que las líneas de cobre son capaces de transmitir señales de hasta 2.2 MHz de ancho de banda, tradicionalmente, el servicio telefónico solo utiliza 4 KHz de ancho de banda.

El rápido crecimiento de la necesidad de ancho de banda para los servicios de datos, impulsó el desarrollo de la tecnología DSL. Ya que los enlaces de cobre están prácticamente en todas partes, los proveedores de servicio decidieron enviar datos en la banda sin usar de los 4 KHz hasta los 2.2 MHz.

Se han diseñado diferentes versiones de DSL. La principal variación es el DSL Asimétrico, ADSL. Asimétrico significa que el esquema ADSL utiliza dos diferentes velocidades, donde la velocidad del sentido de bajada es mayor que la de subida.

En el espectro de frecuencia, la banda de 0 a 4 KHz se utiliza para el tráfico de voz, y la banda de 10 KHz a 2.2 MHz se utiliza para el tráfico de datos.

Aunque los enlaces ADSL son poco costosos de implementar, las características de la línea de cobre imponen algunas limitaciones en la transmisión de datos, siendo muy sensible a la distancia del enlace.

La velocidad de los datos disminuye conforme se incrementa la distancia hacia la central telefónica, como se muestra en la figura 2.4

Los usuarios más lejanos pueden llegar a recibir solamente velocidades de hasta 1 Mbps y transmitir en rangos de entre 64 640 Kbps.

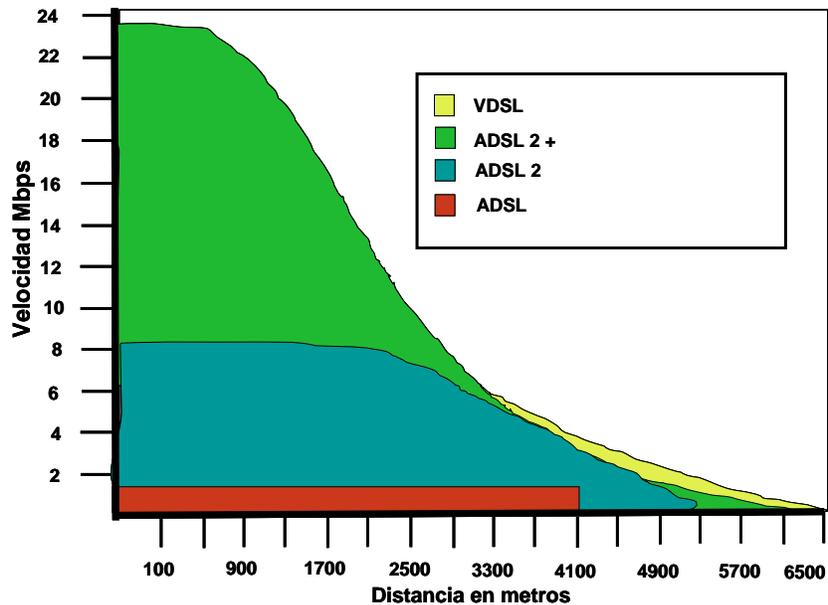


Figura 2.4 Velocidad-Distancia ADLS

### 2.2.2 WiMax

WiMax, (Worldwide Interoperability for Microwave Access, Interoperabilidad Mundial por Acceso de Microondas), es el término popular del estándar IEEE 802.16, el cual es llamado Sistema de Acceso Inalámbrico para Interfaz Aérea de Banda Ancha Fija.

Idealmente, WiMax puede proporcionar conectividad a velocidades de hasta 70 Mbps y hasta distancias de 50 Km. La implementación inicial se realiza por medio de una red de radio bases fijas, descritas en el estándar IEEE 802.16-2004. WiMax además, soporta transmisiones directamente a usuarios móviles, lo cual es el tópico del estándar IEEE 802.16e.

La figura 1.5 muestra una configuración típica de una red WiMax. En esta figura, la radio base se conectan a la red pública por medio de enlaces punto a punto. Cada radio base puede soportar cientos de usuarios fijos. La antena para el equipo del usuario se monta en el techo o en un mástil. El estándar IEEE 802.16-2004

también tiene la opción de instalar antenas de interior, aunque la calidad no es tan buena que con una antena exterior.



Figura 2.5 Red WiMax.

### 2.3 Redes Ópticas Pasivas

Ya que los proveedores de servicio buscan reducir sus costos operativos, el uso de las Redes Ópticas Pasivas, PON, es una opción atractiva.

En una red PON no existen componentes activos entre la central telefónica y la instalación del usuario. En lugar de ello, solo se instalan componentes ópticos pasivos para transportar el tráfico contenido en las longitudes de onda específicas.

Reemplazar los dispositivos activos con componentes pasivos, proporciona ahorros, ya que se elimina la necesidad de fuentes de alimentación y la administración de los componentes activos de la red de acceso.

Adicionalmente, ya que los dispositivos pasivos no tienen necesidad de procesamiento de señal, tienen virtualmente un ilimitado tiempo medio entre fallas,

(MTBF; *mean time between failures*). Esto, obviamente reduce el costo total de mantenimiento del proveedor de servicio.

La figura 2.6 muestra la arquitectura típica de un sistema PON, en la cual se combinan los diferentes servicios que se envían a los usuarios sobre el enlace óptico, utilizando una longitud de onda de 1490 nm, siendo este el sentido de bajada. En el sentido opuesto, subida, el usuario transmite hacia la central telefónica utilizando la longitud de onda de 1310 nm.

El equipo de transmisión en la red, consiste de un OLT, *optical line terminal*, (Terminal de Línea Óptico), situado en la central telefónica y un ONT, *optical network terminal*, (Terminal de Red Óptico) en el sitio de cada usuario.

Iniciando en la central telefónica, una fibra óptica se extiende hasta un divisor de potencia óptica pasivo cercano al domicilio, a un complejo de oficinas o a algún campus.

En este punto, el divisor simplemente distribuye la potencia óptica en un número  $N$  de rutas separadas hacia los usuarios.

Si el divisor está diseñado para distribuir de manera equitativa la potencia óptica, y  $P$  es la potencia entrante al divisor, el nivel de potencia hacia el usuario es  $P/N$ .

El número de rutas varía de 2 a 64, pero típicamente son 8, 16 ó 32 rutas.

La longitud de la fibra óptica desde la central telefónica hasta el usuario, puede ser de hasta 20 Km., tomando en cuenta que los dispositivos activos solo existen en la oficina central y en la instalación del usuario final.

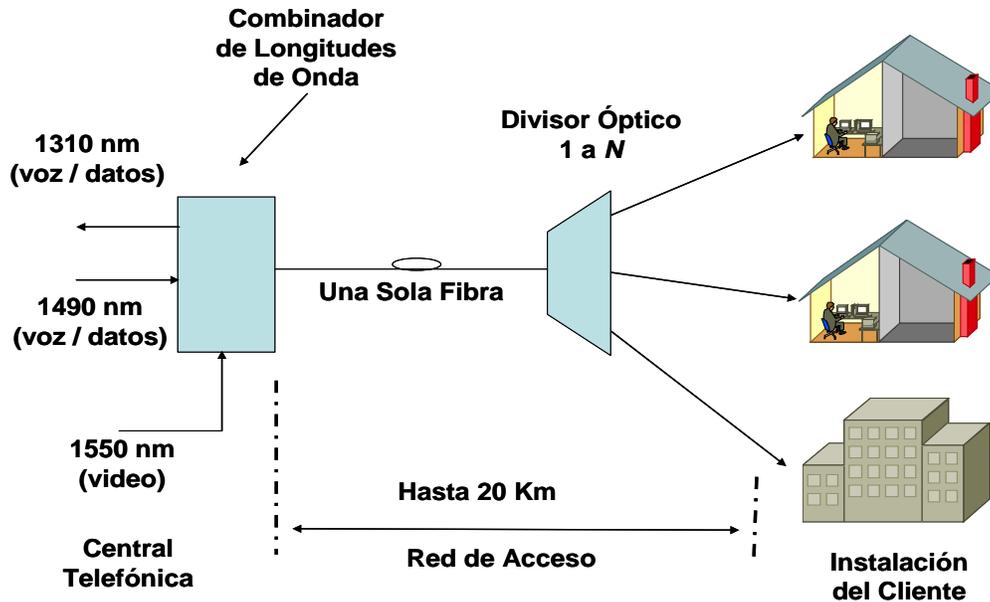


Figura 2.6 Sistema PON.

Existen diversos esquemas de implementación de PON:

- Broadband PON, BPON
- Ethernet PON, EPON
- Gigabit PON, GPON

Adicionalmente, en ocasiones se hace referencia a ATM PON, APON, que forma parte de la categoría BPON.

### 2.3.1 FTTx (Fiber to the x)

La tecnología de telecomunicaciones **FTTx** (del inglés *Fiber to the x*) es un término genérico para designar cualquier acceso de banda ancha sobre fibra óptica que sustituya total o parcialmente el cobre del bucle de acceso. El acrónimo FTTx se origina como generalización de las distintas configuraciones desplegadas (FTTN, FTTC, FTTB, FTTH...), diferenciándose por la última letra que denota los distintos destinos de la fibra (nodo, acera, edificio, hogar...).

A mediados de los 1990's, un grupo de proveedores internacionales de servicios, se reunieron para desarrollar los documentos que finalmente definieron la nueva red óptica pasiva FTTH.

Esto les permitió ofrecer conexiones con un buen costo-beneficio a los usuarios, abrir un nuevo mercado, y ayudar a los fabricantes en el desarrollo de equipos estandarizados.

Este grupo creó la FSAN, (Full Service Access Network, Red de Acceso de Servicio Completo). Posteriormente, en 1998, la UIT-T, convirtió las especificaciones de FSAN en recomendaciones, iniciando con la G.983.1 y en 2003 la G.984.1

La aplicación de la tecnología PON, para proporcionar conectividad de banda ancha en la red de acceso, para los hogares, conjuntos habitacionales y negocios pequeños, es llamada comúnmente "Fiber to the x", (Fibra a x), ó FTTx, donde la letra x indica que tan cercano está el extremo de la fibra al usuario.

La figura 2.7 muestra algunos de estos escenarios.

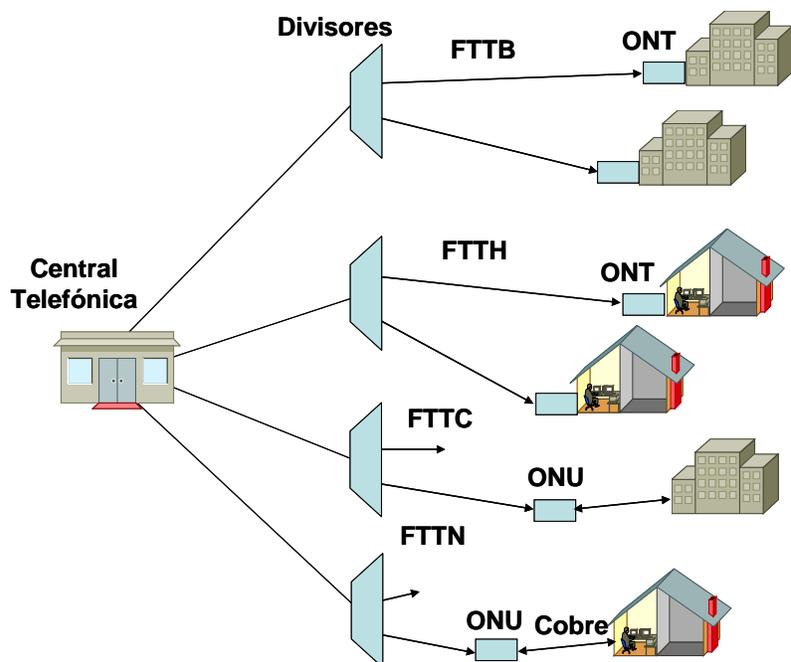


Fig. 2.7 Escenarios FTTx.

A continuación, la Tabla 2.1 muestra los diferentes acrónimos utilizados en FTTx.

Tabla 2.1 Acrónimos

Acrónimo	Fiber to the...
<b>FTTB</b>	<b>Business:</b> Se refiere al desarrollo de la fibra óptica desde la central telefónica hasta la empresa o negocio.
<b>FTTC</b>	<b>Curb:</b> Se refiere al desarrollo de la fibra óptica desde la central telefónica hasta un equipo de comunicaciones localizado cerca del hogar o negocio.
<b>FTTH</b>	<b>Home:</b> Se refiere al desarrollo de la fibra óptica desde la central telefónica hasta el hogar. La diferencia principal entre FTTB y FTTH es que el negocio demanda mayor ancho de banda.
<b>FTTN</b>	<b>Neighborhood:</b> Similar a FTTC
<b>FTTO</b>	<b>Office:</b> Similar a FTTB.

### 2.3.2 Arquitectura de FTTH

Aunque la fibra óptica supera las limitaciones de las demás tecnologías de acceso, uno de los principales obstáculos para proporcionar el servicio a los hogares y a las pequeñas oficinas, es el costo elevado de conectar a cada usuario hasta la central telefónica.

Un gran número de conexiones Punto a Punto, P2P, requieren muchos componentes activos y una gran cantidad de cable de fibra óptica, dando altos costos de instalación y mantenimiento, comparados con los accesos tradicionales de cobre.

Junto con los enlaces P2P, se proporcionan conexiones Punto Multi Punto, P2MP, que ofrecen una solución atractiva a los problemas de costo.

Existen diversas arquitecturas para conectar a los usuarios en la red FTTH PON, sin embargo, en cualquiera de ellas, se requieren al menos los siguientes componentes:

- Una Terminal Óptica de Línea, OLT, en la central telefónica, tanto para P2P como para P2MP PON.
- Una fibra alimentadora desde la central telefónica hasta el divisor en enlaces P2MP PON.
- Un divisor por cada fibra alimentadora. PON puede utilizar múltiples divisores en cascada.
- Fibras de distribución y cables ópticos entre las ramas del divisor y las Terminales Ópticas de Red, ONT
- Un ONT (ONU conectado al UNI) localizado en las instalaciones del cliente.

La fibra alimentadora de la Oficina Central se lleva al hub distribuidor, FDH, (Fiber Distributor Hub), donde se encuentran uno o más divisores.

Desde ese punto, dependiendo de la topología, se conectan los usuarios. A cada cliente se le proporciona una ONT, conectado a una rama del divisor. La ONT proporciona conexiones para los diferentes tipos de servicio, (Voz, Datos y Video).

### 2.3.3 Tecnología FTTH

La tecnología FTTH es una expresión genérica para designar arquitecturas de redes de transmisión de alto desempeño, basada en tecnología óptica. Son redes totalmente pasivas, también llamadas PON, Passive Optical Network.

De una manera generalizada, en la central telefónica, en la sala de equipos, la señal se transmite por una red óptica donde en una región próxima a los usuarios, la señal se divide y se transmite a las ONTs, localizada en las instalaciones de los usuarios.

#### Componentes

Una red de transmisión basada en la arquitectura PON, como se muestra en la figura 2.8, está compuesta por los siguientes elementos:

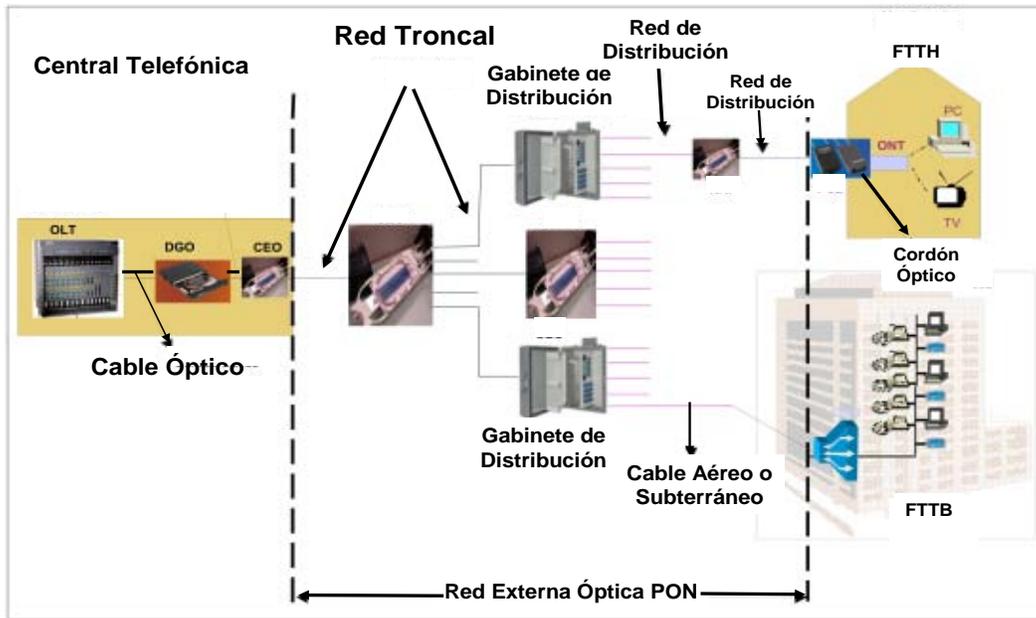


Fig. 2.8 Componentes FTTH.

Los divisores pueden ser modulares, estándar con fibras para empalme y tipo rugged (fibras y divisor con protección reforzada) para aplicaciones en cajas de empalme externas.

- **Red Óptica Distribución:** Compuesta por cables ópticos, llevan la señal de los centros de distribución a las áreas específicas de atención. Asociados a estos cables, se utilizan cajas de empalme para derivación de las fibras para una distribución mejorada de la señal.
- **Red Óptica de Acometida:** Compuesta por cables ópticos auto soportados de baja cantidad de fibras. A partir de la caja de empalme terminal, NAP, llevan la señal óptica hasta el usuario. El elemento de sustentación normalmente se utiliza para sujetar el cable de la casa / edificio del usuario. Pueden terminar en pequeños DIOs, (Distribuidor Interno Óptico), para la transición del cable para cordón óptico o en pequeños bloques ópticos, para la transición del cable para extensión óptica en el interior de la casa / edificio.

Debido a las grandes restricciones de espacio y utilización de conductos ya existentes, normalmente se utilizan fibras ópticas de características especiales, para evitar la pérdida de señal por curvaturas acentuadas.

- **Red interna:** A partir del bloque óptico o distribuidor interno óptico, se utilizan cordones ópticos para realizar la transición de la señal óptica de la fibra al receptor interno del usuario, con fibra óptica especial tipo All Wave Flex.

### 2.3.4 La fibra en las redes públicas

En este apartado hacemos una breve exposición de las ventajas actuales de los portadores ópticos sobre los convencionales en las redes públicas de comunicaciones, tanto urbanas como interurbanas, así como a su aplicabilidad a los cables submarinos.

Las redes públicas urbanas de enlaces comprenden los haces de circuitos que unen a diferentes centrales de un núcleo urbano para la comunicación de cualquier abonado de una de ellas con cualquier otro de las demás. Estas redes forman estructuras malladas, de modo que, normalmente, cada central tiene acceso directo a todas las demás de ese núcleo urbano.

La unión entre áreas urbanas se realiza mediante arterias especializadas para cursar exclusivamente el tráfico entre ellas, para lo que todas las centrales urbanas disponen de un haz de enlaces que las unen en salida y llegada a una central especial cuya función es puramente de tránsito; es decir, cursa exclusivamente el tráfico hacia y desde otras áreas urbanas. De momento, las redes citadas soportan fundamentalmente transmisiones telefónicas bidireccionales de carácter analógico y digital.

## 2.4 Norma de construcción de la red secundaria de fibra óptica auto soportada

La red secundaria, instalada entre la caja de distribución o cierre de empalme de distribución óptica y los puntos de dispersión o terminales, se encuentra generalmente en forma aérea donde los cables telefónicos se instalan en postiería: el esquema general de la red secundaria se muestra en la figura 2.9.

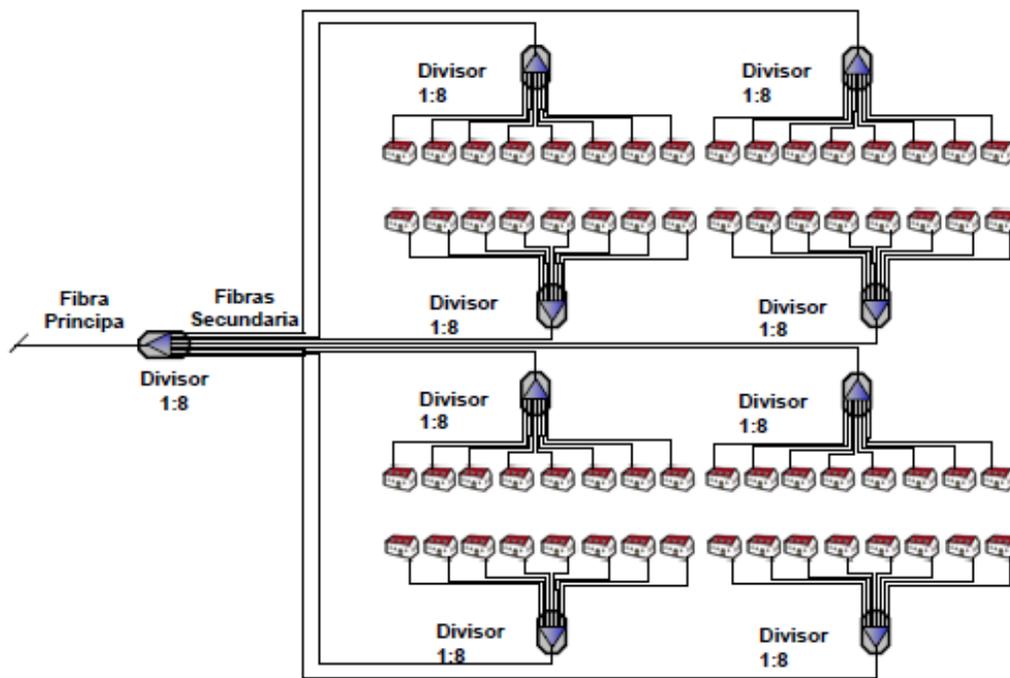


Fig. 2.9 Esquema General de la Red Secundaria.

### 2.4.1 Cables aéreos de fibra óptica

El Cable Autoportado de Fibra Óptica Dieléctrico AFDTP-1, está compuesto por un cable mensajero de 3.1 mm. De  $\varnothing$  de acero galvanizado, cubierta exterior de polietileno de media densidad, elemento de tracción Central Dieléctrico, elemento de relleno, Tubo holgado y cordón de apertura. (Véase figura 2.10 y tabla 2.2).

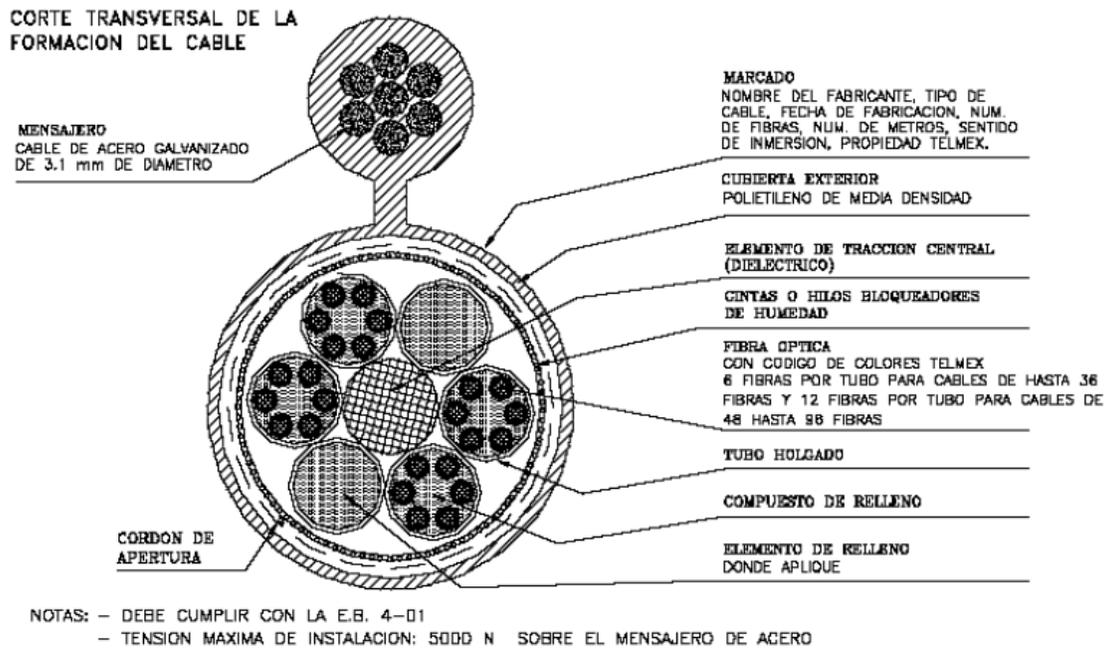


Figura 2.10- Descripción técnica del cable de Fibra Óptica Dieléctrico AFDTP-1

Tabla 2.2 .- Capacidad y características del Cable Autoportado de Fibra Óptica Dieléctrico AFDTP-1-

CATALOGO SIATEL	NUM. DE TUBOS	NUM. DE FIBRAS POR TUBO	NUM. DE FIBRAS DEL CABLE	DIAMETRO DEL CABLE (mm)	PESO APROX. (Kg/Km)	*LONGITUD DEL CABLE EN CARRETE
1028216	6	6 FIBRAS / TUBO Y 5 RELLENOS	6	10 ± 0.5	73 ± 2	1950
1028217	6	6 FIBRAS / TUBO Y 4 RELLENOS	12	10 ± 0.5	74 ± 2	1950
1028218	6	6 FIBRAS / TUBO Y 2 RELLENOS	24	10 ± 0.5	76 ± 2	1950
1028219	6	6 FIBRAS / TUBO	36	10 ± 0.5	78 ± 2	1950
1028221	6	12 FIBRAS / TUBO Y 2 RELLENOS	48	11.5 ± 0.5	97 ± 2	1950
1028264	6	12 FIBRAS / TUBO	72	11.5 ± 0.5	101 ± 2	1950
1028267	6	12 FIBRAS / TUBO	96	13 ± 0.5	130 ± 2	1950

\*TOLERANCIA: -0+5%

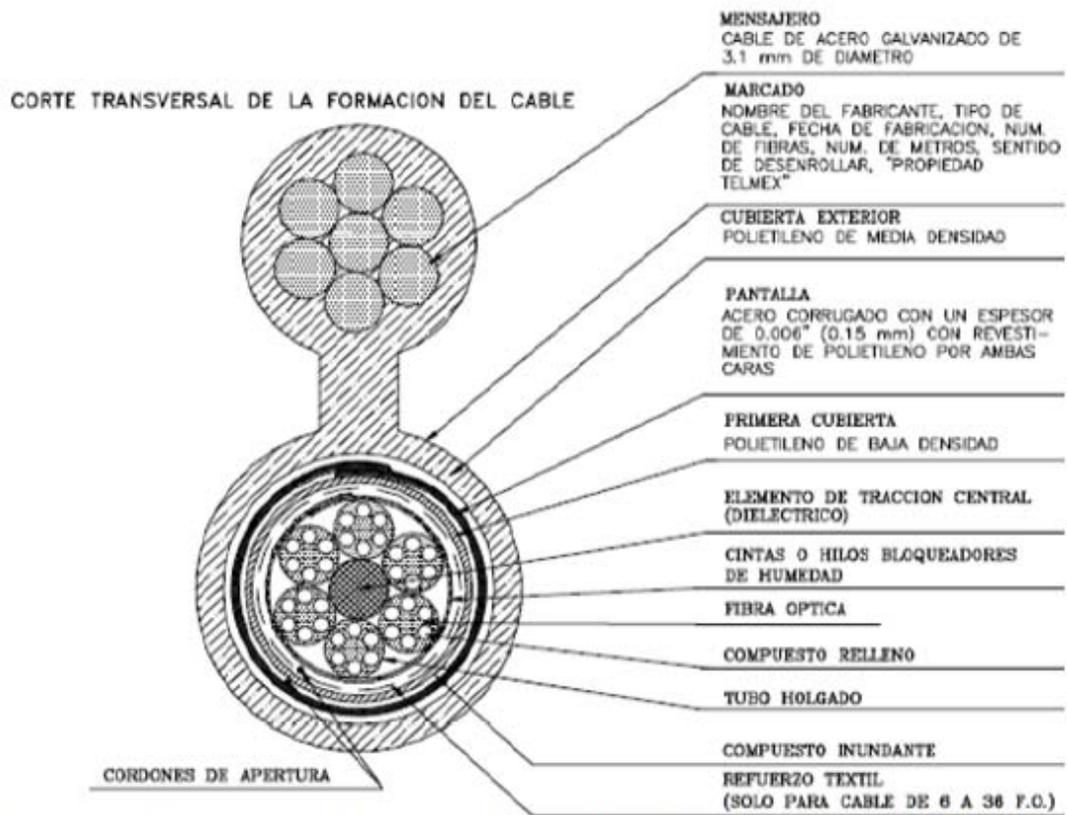


Fig. 2.11 Descripción técnica del cable de Fibra Óptica TM-6N

Tabla 2.3.- Capacidad y características del Cable Autoportado de Fibra Óptica TM-6N

CATALOGO SIATEL	NUM. DE FIBRAS POR TUBO	NUM. DE FIBRAS DEL CABLE	PESO APROX. (Kg/Km)	*LONGITUD DEL CABLE EN CARRETE (m)
1001089	6 FIBRAS / TUBO Y 5 RELLENOS	6	228	1950
1001090	6 FIBRAS / TUBO Y 4 RELLENOS	12	228	1950
1001091	6 FIBRAS / TUBO Y 2 RELLENOS	24	228	1950
1014003	6 FIBRAS / TUBO	36	228	1950

### 2.4.2 Postes.

Los Postes son los elementos de apoyo, dispersión y distribución de los cables de las redes aéreas.

Los Postes utilizados actualmente en el carrier dominante en nuestro país, son de madera de pino tratada con sales hidrosolubles, que los protegen contra las acciones del medio ambiente. La tabla 2.4 muestra las longitudes y características de los postes.

Tabla 2.4 Postes: Longitud y Características.

CATALOGO SIATEL	Longitud		Características	
	Pies	Mts.	Peso ( Kg. )	Resistencia a la ruptura * ( Kg. )
1000361	25	7.6	126 a 140	540
1000362	30	9.20	180 a 200	680
1000363	35	10.70	235 a 265	860
1000364	40	12.20	265 a 300	860
1000365	45	13.70	340 a 450	860

\* - Medida con carga aplicada a 0.61 m (2 pies) de la punta.

Por su uso se clasifican en tres tipos:

1. **Postes con terminal.** Sirven para fijar los puntos de dispersión de la red secundaria y los diferentes accesorios de sujeción y empalme de los cables aéreos.
2. **Poste intermedio o de paso.** Sirve como punto de carga de los cables aéreos.
3. **Poste de apoyo.** Se emplea para detener el cordón de acometida en su trayectoria de conexión al cliente y para el remate de la guía del cable en: retenida a poste, instalación de cruceros y cambios de dirección de 90°.

### 2.4.3 Instalación del cable aéreo autoportado

Consideraciones generales.

La trayectoria del Cable Principal cobre o Fibra debe ser por el lado del arroyo, y la del Cable Secundario por el lado del paramento (banqueta).

- En Postes de paso se debe colocar, como herraje de sujeción, “Tornillo con Tuerca 13 x 229 mm. Para Soporte para Colgante”, colgante y soporte para cable, a 55 cm del desagüe del poste.
- En Postes Nuevos para Remate de cable, se debe instalar a 60 cm del desagüe del poste, Ancla para Remate.
- En postes con cables de cobre existentes, se deben utilizar los herrajes existentes en los postes, salvo en los postes de paso, donde se instalará el “tornillo con tuerca 13 x 229 mm. para soporte para colgante, colgante y soporte para cable.
- Para rematar los cables se debe utilizar remate fiable (Elemento de tensión automático cónico en aluminio ) de 1.5 toneladas, remate málico (Tensor de aluminio para mensajero) o remate preformado.
- Se pueden rematar 2 cables por cada orificio del Ancla para Remate.

### **Alturas de instalación de acuerdo a la normatividad del operador telefónico y la NOM 001 SEDE 1999.**

La Norma Oficial Mexicana (NOM 001SEDE-1999 "INSTALACIONES ELECTRICAS" (UTILIZACIÓN)) en su tabla 922-41 determina las alturas mínimas y condiciones de instalación sobre el suelo, agua o vías férreas, de los cables aéreos.

Tomando en consideración las características de los cables aéreos y postes utilizados en el carrier, la tabla 2 muestra una guía para la elección de la Postería a utilizar, para cumplir con lo especificado en la Norma Oficial Mexicana, citada.

### **Instalación del cable por el Método del Remolque Portabobinas Estacionado (fijo).**

Este método se utiliza en el caso de que árboles u obstáculos impidan la colocación del cable en los postes mediante el Método del Remolque Portabobinas en Movimiento.

El trabajo consiste básicamente en:

- Colocar el remolque o gato portabobinas con el cable en un extremo de la corrida.
- Colocar en cada uno de los postes a lo largo de la trayectoria, las poleas para que el paso de cables sea para trayectorias rectas o para cambios de dirección.
- Jalar el cable autoportado, pasándolo a través de las poleas ubicadas en cada poste.
- Tensar el cable por segmentos de poste de remate a poste de remate.

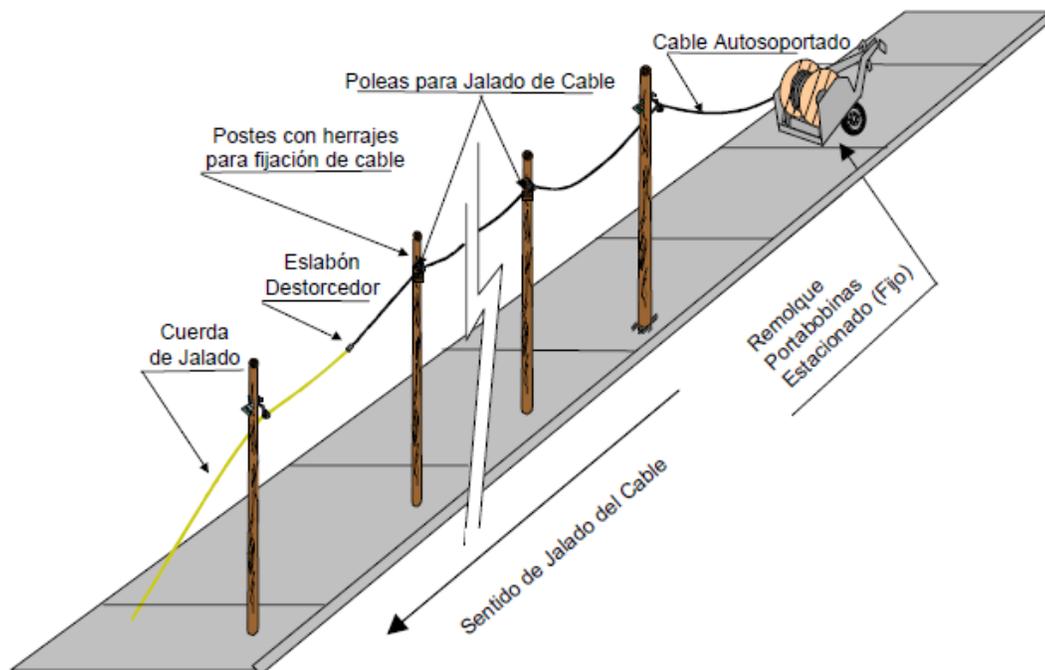


Fig. 2.12. Esquema de instalación de Cable Autoportado, por el Método de Portabobinas Estacionado (Fijo).

Instalación del cable por jalado.

- El Remolque Portabobinas del cable puede, en la mayoría de los casos, ser estacionado en la parte final de la sección de "Jalado".
- La distancia entre el Remolque Porta Bobinas con el cable y el primer poste, debe ser 2 veces la altura del poste, medido a partir del nivel de tierra.

- El cable debe desenrollarse de la parte superior del carrete.
- El remolque portabobinas con el cable, debe estar en línea con los postes.

Las poleas para soporte temporal y jalado del cable, en los postes que se encuentran en línea recta o con cambios de dirección menores a 30 grados de ángulo de cambio, son como las mostradas en la figura 2.13.

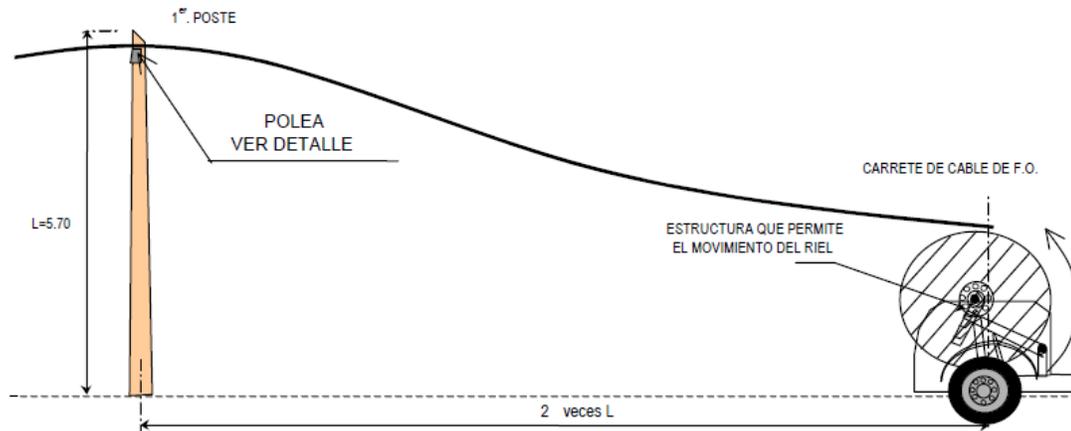


Fig. 2.13 Separación del carrete de cable con el primer poste.

- El cable debe desenrollarse de la parte superior del carrete.
- El Remolque Portabobinas con el cable, debe estar en línea con los postes.

Las poleas para soporte temporal y jalado del cable, en los postes que se encuentran en línea recta o con cambios de dirección menores a 30 grados de ángulo de cambio, son como las mostradas en la figura 12.

En el cálculo de la tensión de operación para los cables aéreos autosoportados de fibra óptica se considera el incremento de la tensión de instalación debido a:

La presión del viento, caso crítico con velocidad del viento hasta 100 Km/h.

El cambio de estado de la guía de acero por variaciones de la temperatura, caso crítico cuando la temperatura desciende de  $30^\circ$  a  $-10^\circ$  (disminución de  $40^\circ\text{C}$ ).

Asimismo, una combinación factible de estos factores, tales como una presión por viento de 60 Km/h y a  $-10^{\circ}\text{C}$  de temperatura ambiente, nos representó un incremento en la tensión de hasta un 250% respecto a la tensión de instalación.

Lo anterior indica que una red aérea es un sistema de fuerzas que permite ser manejado de acuerdo a las necesidades del carrier, dentro de los límites permitidos por las cargas de ruptura de sus componentes, no vistos en su momento de instalación, sino en las condiciones de operación.

El cable de Fibra Óptica debe irse enrollando en forma parcial y amarrarlas con rafia para facilitar la formación de las circunferencias, (véase figura 2.14).

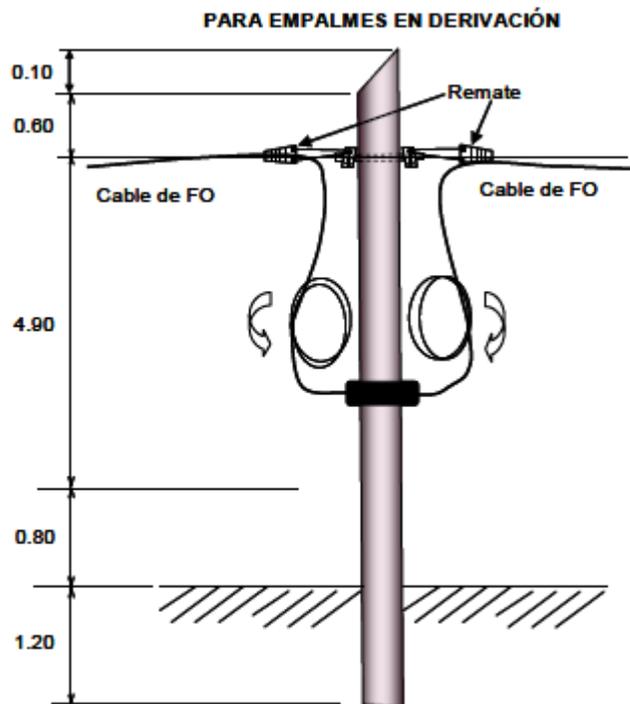


Fig. 2.14 Colocación de Amarres a cada tres vueltas.

### Instalación de cruceros.

Cuando por diseño del proyecto, se hace necesario desviar el o los cable(s) por diferente(s) trayectoria(s), y ésta(s) forma(n) un ángulo de  $90^{\circ}$  con respecto a la

trayectoria original, se debe instalar un Crucero para Cable Mensajero, que permita alinear el cable con el eje de la corrida.

No se deben instalar más de tres guías de acero (mensajero de cable), incluyendo, en su caso, la guía de acero forrada que remata al poste de apoyo.

Las figuras 2.14 y 2.15 muestran la instalación del Crucero para Cable Mensajero.

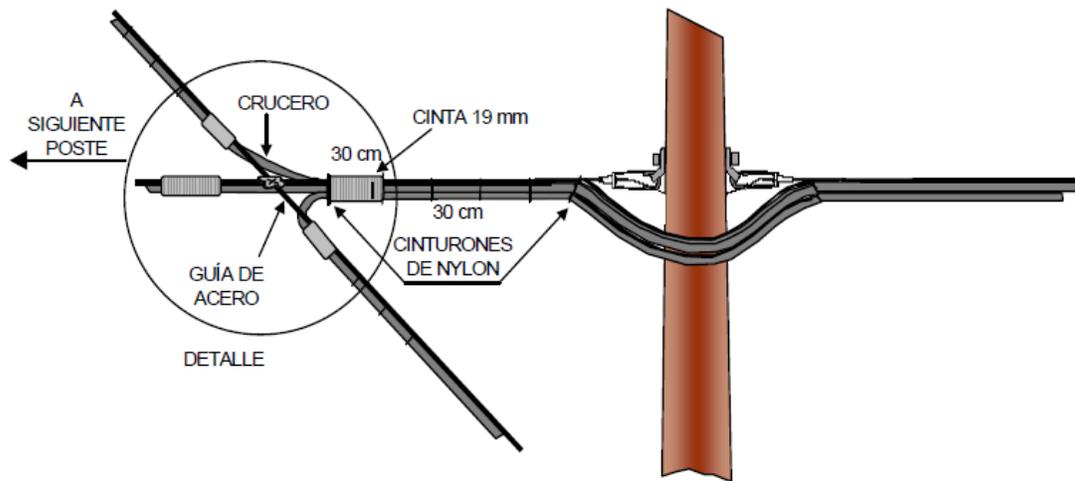


Fig. 2.14 Uso del Crucero para Cable Mensajero.

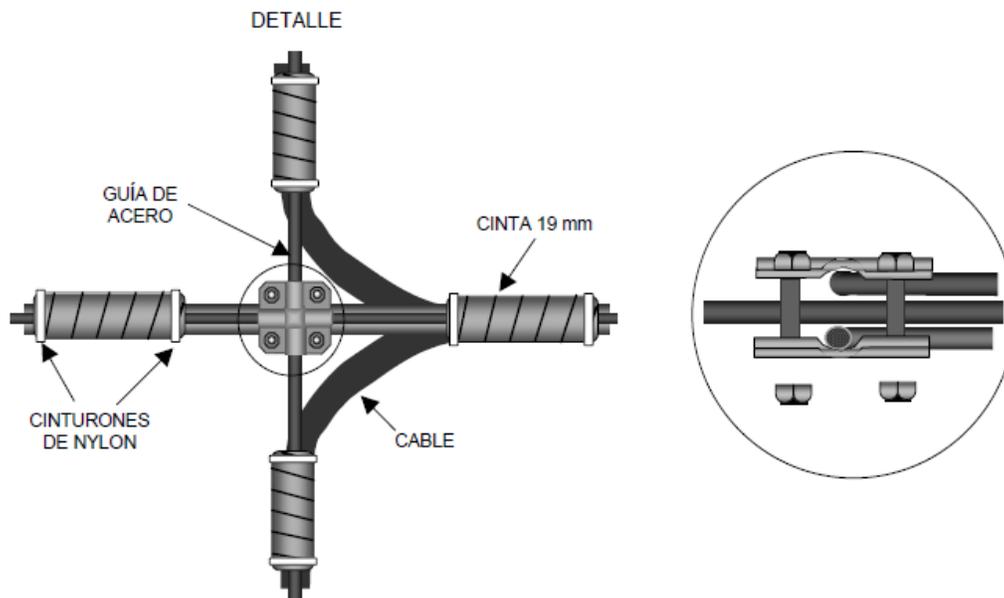


Fig. 2.15 Detalle de instalación de las guías de acero, en el Crucero para Cable Mensajero.

## **Capítulo 3**

### **Red óptica pasiva con capacidad de gigabit (GPON) recomendación G.984.2**

Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos.

#### **3.1 Introducción**

El interés generalizado que ha despertado el sistema G-PON a velocidades 2,4 Gbit/s en sentido descendente y 1,2 Gbit/s en sentido ascendente, ha permitido analizar con mayor detalle las características de los balances de atenuación en este sistema. En este apéndice se recogen las prácticas idóneas observadas en la industria para esta combinación de velocidades. Los balances de atenuación que se encuentran en la presente Recomendación difieren considerablemente de los que pueden encontrarse en otras fuentes en los siguientes aspectos:

- Los balances de atenuación general se encuentran entre la clase B y la C.
- Las degradaciones en el trayecto óptico tienen un valor diferente.
- La OLT debe integrar FEC (corrección de errores en recepción) en el sentido descendente.

Estas diferencias pueden aumentar las capacidades operativas de los sistemas G-PON. Por consiguiente, se recomienda utilizar los balances que figuran en este apéndice en lugar de los que aparecen en la Recomendación original para las redes ópticas pasivas (PON) que funcionan a velocidades 2,4/1,2 Gbit/s.

#### **3.2 Aplicaciones del sistema**

En la actualidad, los sistemas G-PON se utilizan principalmente para dos aplicaciones, a saber, para sistemas de pleno servicio con superposición de vídeo y para sistemas puramente digitales sin superposición de vídeo. Estas dos aplicaciones se representan en la figura 3.1.

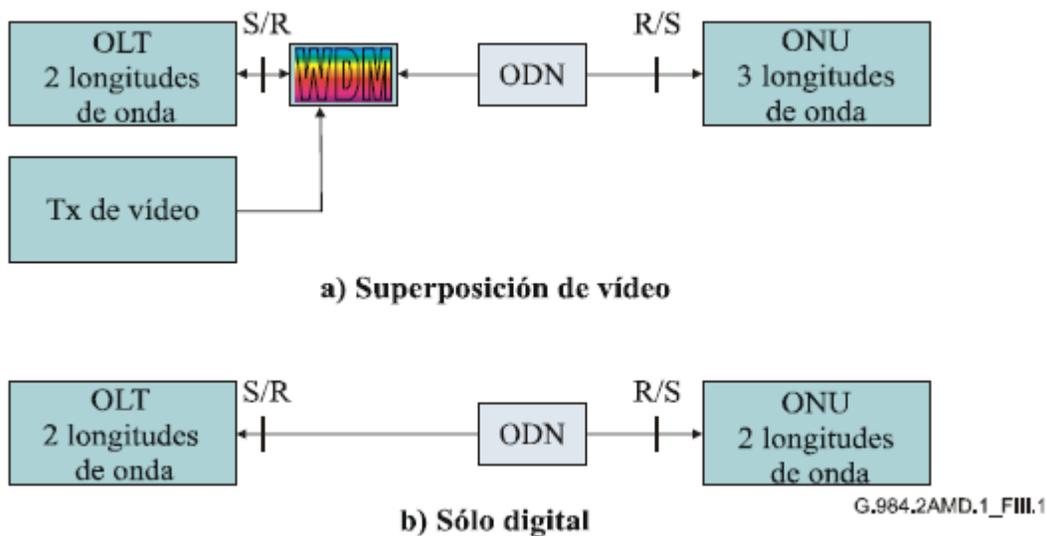


Fig. 3.1G.984.2 – Aplicaciones G-PON

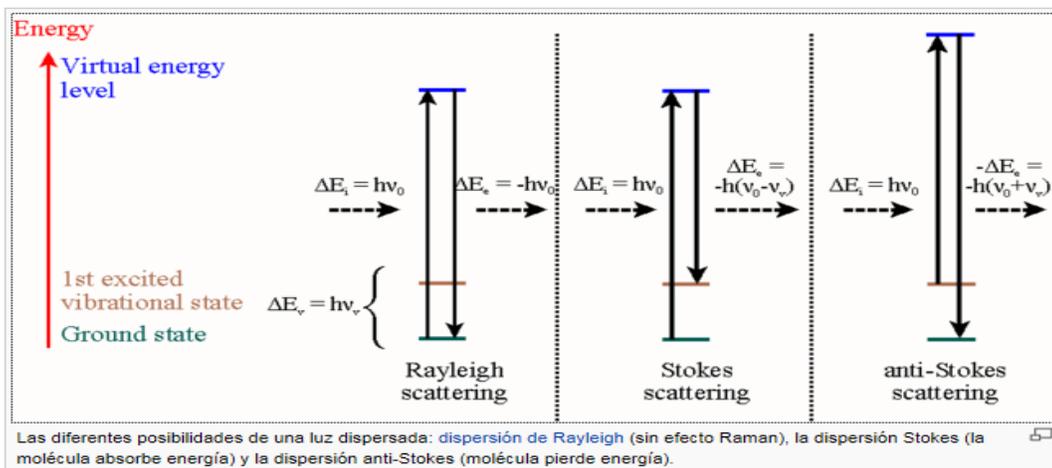
Las especificaciones ópticas de la OLT y la ONU figuran en la tabla 3.1 que se basa en los niveles de potencia medidos en los puntos de la interfaz indicados en la figura 3.1 es decir, para los dos tipos de sistemas, a) superposición de vídeo y b) puramente digitales; concretamente, los filtros WDM externos a los equipos OLT u ONU que pudiera haber se consideran parte de la ODN. Estas especificaciones tienen por objeto complementar las especificaciones similares que figuran en la tabla 2 del cuerpo principal de la Recomendación. El resto de especificaciones que no figuran en este cuadro siguen siendo aplicables.

La sensibilidad de la ONU puede ajustarse mediante un fotodiodo de avalancha (APD) sin FEC o un fotodiodo sin ganancia por avalancha interna (PIN) con FEC. La selección de uno u otro depende de la implementación de la ONU. La solución de APD es una opción que puede ponerse en práctica inmediatamente, mientras que la opción de PIN con FEC es una opción a más largo plazo que requiere la introducción de circuitos receptores de mayor calidad de funcionamiento. La OLT debe admitir FEC en sentido descendente, para lo cual habrá de tener la capacidad de calcular los bytes de paridad FEC y transmitirlos en la señal en

sentido descendente. El equipo OLT debe también tener la capacidad de activar o desactivar la función FEC en sentido descendente mediante instrucciones del sistema de operaciones. La ONU puede, como opción, admitir la decodificación de FEC en el sentido descendente, y cualquier instancia específica de la ONU puede utilizar la paridad FEC a su propia discreción.

La degradación óptica no comprende el efecto Raman<sup>1</sup> en la longitud de onda que pudiera producirse en sentido descendente. Toda degradación debida a este efecto no debe considerarse parte del balance de atenuación del enlace. No obstante, todo sistema en el que se produzca un efecto Raman importante tendrá también una longitud de fibra considerable. Debido a que la atenuación en las longitudes de onda de 1490 nm y 1310 nm es diferente, se prevé que la

<sup>1</sup> Dispersión Raman o el denominado Efecto Raman es una dispersión inelástica de un fotón. Cuando la luz es dispersada de un átomo o molécula, la mayoría de los fotones son dispersados elásticamente (Dispersión de Rayleigh). Los fotones dispersados tienen la misma energía (frecuencia) y, por lo tanto, la misma longitud de onda que los fotones incidentes. Sin embargo, una pequeña fracción de la luz (aproximadamente 1 en 107 fotones) es dispersado ópticamente a frecuencias diferentes, mayormente inferiores, que la frecuencia de los fotones incidentes. En un gas, la dispersión Raman suele ocurrir por un cambio en los estados vibracionales, rotacionales o electrónicos de una molécula. Una de las aplicaciones más conocidas es la espectroscopía Raman que emplea el efecto Raman para el análisis de los materiales. La frecuencia de la luz dispersada de una molécula se puede cambiar según las características estructurales de los enlaces moleculares. Se requiere para estos casos la iluminación de una fuente de luz monocromática (láser), y el espectrograma de la luz dispersada mostrará las desviaciones causadas por los cambios de estado en las moléculas.



La espectroscopía Raman también se emplea en aquellos problemas de determinación y diagnóstico de procesos de combustión. Siendo considerado como una técnica no-intrusiva, para la detección de especies y distribución de temperatura dentro de los combustibles y en las llamas, sin perturbar el flujo principal durante el examen.

Los estados estimulados de Raman se emplean ampliamente en la determinación de los niveles de energía de los iones atrapados, haciendo la base de los estados qubits, en los iones atrapados en quantum computing. [http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto\\_Raman](http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Raman)

degradación debida al efecto Raman quedará compensada por la menor atenuación en la fibra a 1490 nm.

Tabla 3.1G.984.2 – Niveles de potencia óptica para el sistema a velocidades de 2,4 Gbit/s en sentido descendente y 1,2 Gbit/s en sentido ascendente

Característica	Unidad	Monofibra
<b>OLT:</b>		<b>OLT</b>
Mínima potencia media inyectada	dBm	+1,5
Máxima potencia media inyectada	dBm	+5
Mínima sensibilidad	dBm	-28
Mínima sobrecarga	dBm	-8
Degradación óptica en sentido descendente	dB	0,5
<b>ONU:</b>		<b>ONU</b>
Mínima potencia media inyectada	dBm	+0,5
Máxima potencia media inyectada	dBm	+5
Mínima sensibilidad	dBm	-27
Mínima sobrecarga	dBm	-8
Degradación óptica en sentido descendente	dB	0,5

### 3.2.1 Balance del enlace óptico

En la tabla 3.2. Se muestra el balance del enlace óptico. Este balance abarca todos los componentes ópticos situados entre la OLT y la ONU, incluidos los filtros WDM no integrados del multiplexor de superposición de vídeo y otros servicios de mejora de la banda, y debe incluir toda degradación debida al efecto Raman de la señal de superposición.

Tabla 3.2 G.984.2 – Balance de atenuación en el sistema G-PON

Característica	Unidad	Monofibra
Mínima atenuación óptica a 1490 nm	dB	13
Mínima atenuación óptica a 1310 nm	dB	13
Máxima atenuación óptica a 1490 nm	dB	28
Máxima atenuación óptica a 1310 nm	dB	28

Para facilitar la comparación, en la tabla 3.3 se muestra el balance para la B-PON de clase B+<sup>2</sup> recomendada en la enmienda 2/G.983.3. El balance en la G-PON es similar al del sistema de superposición de vídeo en cuanto que soporta una atenuación mínima de 13 dB, y es similar al balance del sistema puramente digital en cuanto que soporta una atenuación máxima de 28 dB. En teoría, podría suceder que una red óptica pasiva (PON) cuyo balance sea conforme al de la B-PON de clase B+ no sea, en cambio, conforme con el balance de la G-PON; sin embargo, tales casos no deben ser muy comunes en las PON instaladas en la actualidad. Por consiguiente, el balance de la G-PON debe ser compatible con prácticamente todas las PON instaladas.

Tabla 3.3/G.984.2 – Balance de atenuación de los sistemas B-PON de G.983.3/Enm. 2

Característica	Unidad	Monofibra
<b>Sistema con superposición de vídeo (OLT1-ONT)</b>		
Mínima atenuación óptica a 1490 nm	dB	9
Mínima atenuación óptica a 1310 nm	dB	13
Máxima atenuación óptica a 1490 nm	dB	27
Máxima atenuación óptica a 1310 nm	dB	29
<b>Sistema puramente digital (OLT2-ONT)</b>		
Mínima atenuación óptica a 1490 nm	dB	10
Mínima atenuación óptica a 1310 nm	dB	10
Máxima atenuación óptica a 1490 nm	dB	28
Máxima atenuación óptica a 1310 nm	dB	28

En esta recomendación se describe una red de acceso flexible de fibra óptica con capacidad para soportar las necesidades de anchura de banda de los servicios para empresas y particulares, y abarca sistemas con velocidades de línea nominales de 1244,160 Mbit/s y 2488,320 Mbit/s en sentido descendente y 155,520 Mbit/s, 622,080 Mbit/s, 1244,160 Mbit/s y 2488,320 Mbit/s en sentido

<sup>2</sup>BPON + fue estandarizado en 2001. Proporciona 622 Mbps en el camino descendente y 155 Mbps en el camino ascendente, añadiendo además capacidades de introducir vídeo superpuesto. Este era un estándar todavía predominantemente basado en ATM. A medida que el mercado de FTTP ha evolucionado, han empezado a aparecer aplicaciones que requieren un ancho de banda aún mayor. <http://www.adckrone.com/eu/es/webcontent/support/PDFs/whitepapers/105525ES.pdf>

ascendente. Se describen sistemas de redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits (GPON) simétricas y asimétricas (ascendentes/descendentes). Además, se proponen los requisitos de la capa física y las especificaciones de la capa dependiente de los medios físicos (PMD). La capa de convergencia de transmisión (TC) y el protocolo de determinación de distancia para los sistemas GPON se describen en otra Recomendación UIT-T.

El sistema descrito constituye una evolución con respecto al de la Rec. UIT-T G.983.1. En esta Recomendación se mantienen los requisitos de la Rec. UIT-T G.983.1, en la medida de lo posible, a fin de lograr la máxima compatibilidad con los sistemas e infraestructura de fibra óptica existentes.

### 3.2.2 Alcance

Esta recomendación tiene por objeto describir las redes de acceso flexible que utilizan la tecnología de fibra óptica. Se centra principalmente en los servicios de soporte de red con requisitos de anchura de banda que van desde los servicios vocales hasta los servicios de datos con velocidades de gigabits por segundo. Además, se incluyen servicios distributivos.

En esta Recomendación se describen las características de la capa PMD de una red de acceso óptico (OAN, *optical access network*) con capacidad para transportar diversos servicios entre la interfaz usuario-red y la interfaz del nodo de servicio.

La OAN contemplada en esta Recomendación debe permitir que el operador de red ofrezca versiones mejoradas con la suficiente flexibilidad para satisfacer las necesidades futuras de sus clientes, en particular en la zona de la red de distribución óptica (ODN, *optical distribution network*). La ODN considerada se fundamenta en la opción de árbol y rama punto a multipunto.

Esta Recomendación se centra en las cuestiones propias de la fibra, ya que las cuestiones relativas al cobre en los sistemas híbridos se describen en otros

documentos tales como las Recomendaciones sobre la línea de abonado digital x (xDSL, *digital subscriber line x*) (serie G.99x).

Esta Recomendación se centra además en las adiciones y modificaciones de las Recomendaciones anteriores de la serie G.983.x, que describen una arquitectura basada en el modo de transferencia asíncrono (ATM, *asynchronous transfer mode*) por una red óptica pasiva. La finalidad de estas adiciones y modificaciones es soportar velocidades de datos más altas, especialmente para el transporte de servicios de datos.

En esta Recomendación se proponen los requisitos y especificaciones de la capa física para la capa PMD de una red óptica pasiva con capacidad de gigabits (GPON, *gigabit-capable Passive optical network*). Las especificaciones de la capa TC y del protocolo de determinación de distancia se describen en otra Recomendación UIT-T.

### Definiciones

En esta Recomendación se utilizan a menudo términos definidos en las Recomendaciones

UIT-T G.983.1 y G.983.3. Para mayor facilidad, se incluyen en esta cláusula las principales definiciones relativas a la capa PMD de las GPON.

- red de acceso óptico (OAN, *optical access network*): Conjunto de enlaces de acceso que comparten las mismas interfaces del lado red y están soportados por sistemas de transmisión de acceso óptico. La OAN puede incluir varias ODN conectadas a la misma OLT.
- red de distribución óptica (ODN, *optical distribution network*): Aquella que proporciona el medio de transmisión óptico desde la OLT hasta los usuarios, y viceversa. Utiliza componentes ópticos pasivos.

- terminación de línea óptica (OLT, *optical line termination*): Aquella que proporciona la interfaz en el lado red de la OAN y está conectada a una o varias ODN.
- terminación de red óptica (ONT, *optical network termination*): ONU utilizada para FTTH y que incluye la función de puerto de usuario.
- unidad de red óptica (ONU, *optical network unit*): Aquella que proporciona (directamente o a distancia) la interfaz en el lado usuario de la OAN y está conectada a la ODN.
- acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA, *time division multiple access*): Técnica de transmisión en la que se multiplexan muchos intervalos de tiempo en una misma parte útil.
- multiplexación por división de longitud de onda (WDM, *wavelength division multiplexing*): Multiplexación bidireccional que emplea diferentes longitudes de onda para las señales ascendentes y descendentes.

### 3.3 Norma de construcción de la red de cliente para fibra a la casa

Indica la construcción de Instalación de la Red de Cliente para Fibra a la casa (FTTH) y puesta en servicio de la ONT y módem.

El presente subcapítulo es aplicable a la construcción en la Red de Cliente para Fibra a la casa (FTTH), tanto Residencial como Comercial, para los servicios de Voz y Datos a través de Fibra óptica.

Con la finalidad de ofrecer más y mejores servicios de valor agregado a sus clientes, teléfonos de México decidió incorporar la red de cliente para fibra a la casa (FTTH).

El esquema general de la red de cliente para fibra a la casa (FTTH) se muestra en la figura 3.2.

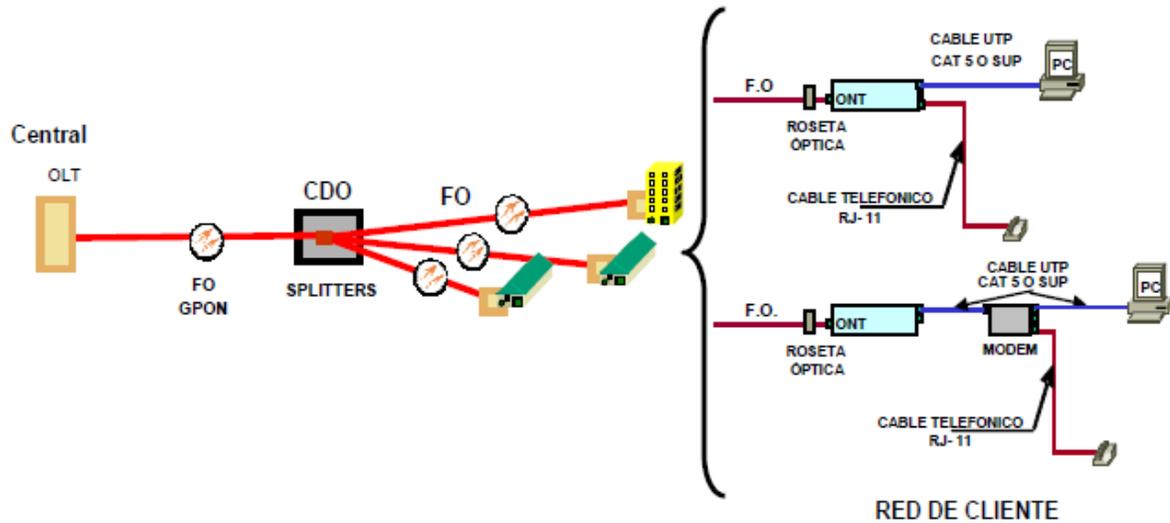


Fig. 3.2. Esquema General.

Los siguientes subtemas indican cómo se debe realizar la construcción de la Red de Cliente para Fibra a la Casa.

### 3.3.1 Descripción de la red de cliente

La Red de Cliente está integrada por la Red Exterior y la Red de Usuario (interior). La Red Exterior del Cliente es el tramo comprendido entre el punto de dispersión (Terminal Óptica), Cordón de acometida óptico y Roseta Óptica.

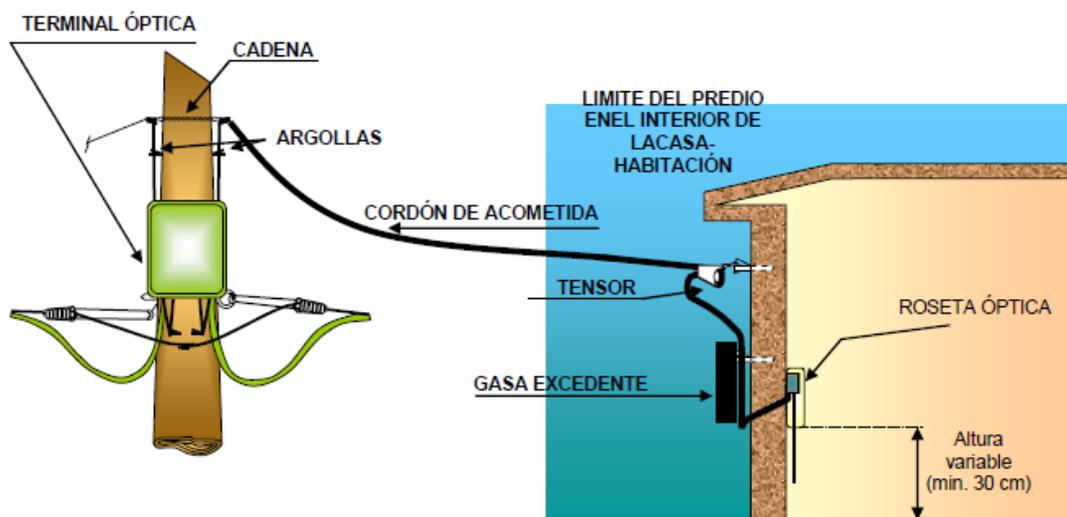


Fig. 3.3 Red Exterior.

La Red de Usuario es el tramo comprendido entre la Roseta Óptica, ONT y línea telefónica.

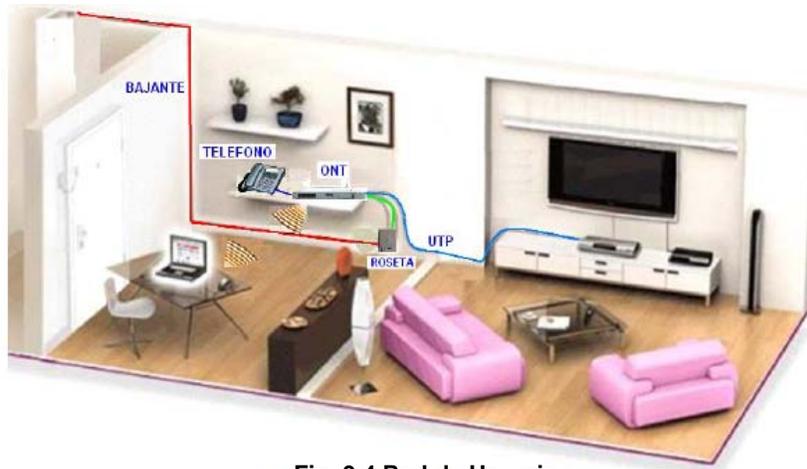


Fig. 3.4 Red de Usuario.

Existen dos tipos de ONT: Sencilla (sin puertos para voz, ni inalámbrico de datos) y la Integrada (con puertos para voz, e inalámbrico de datos). Para servicios de Voz y Datos con ONT Integrada, no se requiere colocar ningún Módem, ya que tiene los puertos para voz, y el inalámbrico para datos. Los componentes de la Red de Cliente en función al tipo de ONT a emplear se muestran en la figura 3.5.

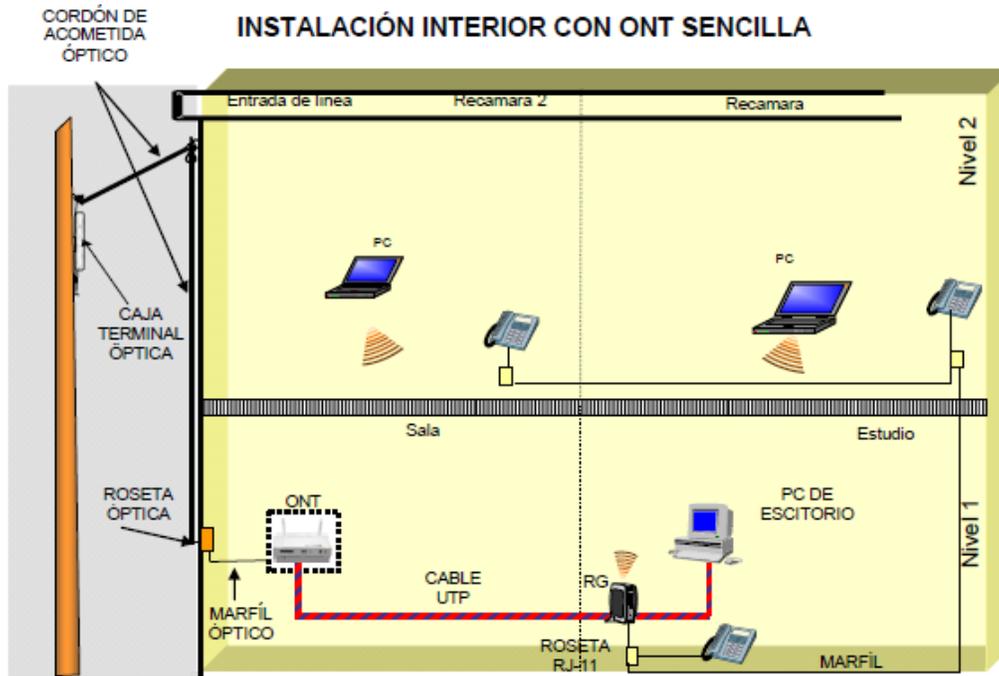


Fig. 3.5 Componentes de la Red de Usuario, con ONT sencilla.

Instalación interior con **ONT** integrada

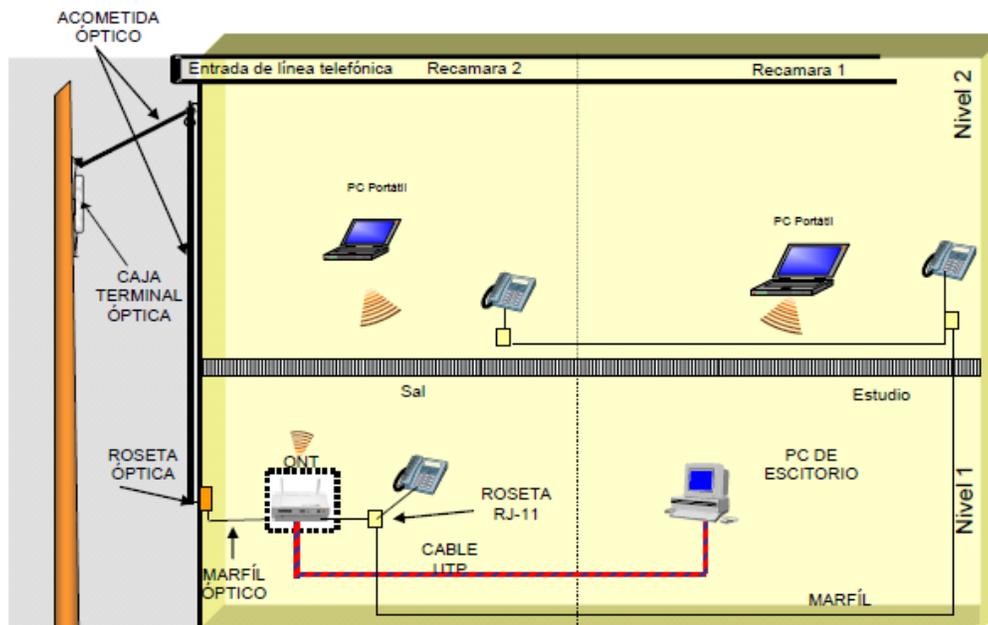


Fig. 3.6 Componentes de la Red de Cliente, con ONT y RG integrada.

**3.3.2 Materiales, herramientas y equipos**

A continuación se indican los Materiales, herramientas y Equipos a utilizar en la Red de usuario de la Línea interior, mismos que se describen en la Norma de Construcción Instalación de Línea de Cliente (N/03/005) que se encuentran en la tabla 3.4

Tabla 3.4 Materiales

No.	Material	Característica	Aplicación	N° Catálogo
1.	Cordón Marfil int./ext. ICEV Cat 3 cal.22 AWG (0.64 mm)		Instalación interior y exterior del cliente.	1001223
2.	Cable UTP cat.5e int/ext. 4 pares cal. 24 AWG (0.51 mm)		Se utiliza para interconectar las rosetas RJ45.	1012562
3.	Cable UTP Ethernet cat. 5 de 2 m preconectorizado.		Se utiliza para interconectar el Módem y la roseta de 4 puertos con conectores RJ45, así como los Decodificadores (STB) y las rosetas de un conector RJ45.	1014423
4.	Roseta telefónica modular sellada de 2 hilos		Punto de conexión del cordón marfil con microfiltro o del módem.	1001487
5.	Roseta modular superficial con 1 conector RJ45 hembra		Punto de conexión entre el cableado UTP a la salida del módem y del decodificador	1014413

6.	Roseta modular superficial 4 puertos con 1 conector RJ45 hembra		Punto de interconexión entre el módem y el cableado UTP	1028494
7.	Roseta tel. modul c/tap p/chalu c/cto R-C		Punto de Interconexión entre el cable de acometida y la red interior en instalaciones ocultas. Cuenta con un circuito RC de las mismas características al del DIT.	1014752
8.	Roseta telef. modular c/tapa p/chalupa		Punto de interconexión y/o derivación	1001489
9.	Conector RJ45 hembra Cat. 5e.		Se emplea como componente de las rosetas modulares con conectores RJ45 hembra tipo Keystone	1028493
10.	Clip plástico transparente con adhesivo		Sólo para interiores, para sujetar Cordón Marfil de 1 ó 2 pares y Cable UTP. APLICACIÓN: Ladrillo rojo barnizado, ladrillo vidriado, mármol, azulejo, mosaico, loseta, cancelería de aluminio, fierro o acero inoxidable, plástico en cancelas, ventanas, lambrin barnizado. En concreto, mortero aplanado y acabados de piedra volcánica	1028122
11.	Sello pasamuros marfil para UTP/Acom./marfil/R G6		Se emplea en las caras exteriores e interiores de paredes para el acceso de cables de acometida (cordón marfil int/ext, Cable UTP y Acev 170)	1027491
12.	Sujetador para Cordón marfil interior-exterior.		Para interiores y exteriores, para sujetar Cordón Marfil int./ext. ICEV Cat. 3. Se usa en Ladrillo rojo, mortero (aplanado). (COMPACTOS) Yeso, tabla-roca, madera, aglomerados de madera, muros de unicel con acabados texturizados. (NO COMPACTOS) Tabique ligero, adobe, tabicón.	1000673
13.	Sujetador p/cordón Int.-Ext. Marfil 2 ps y UTP.		Fijación del cable Ladrillo rojo, mortero (aplanado). (COMPACTOS) Yeso, tabla-roca, madera, aglomerados de madera, muros de unicel con acabados texturizados. (NO COMPACTOS) Tabique ligero. adobe. tabicón.	1007277
14.	Sujetador p/2 cables UTP ó 2 int/ext marfil.		Se emplea en interiores y exteriores para sujetar a la pared dos cordones marfil int./ext o dos cables UTP.	1028703

Tabla 3.5 Equipos y componentes.

No.	Equipo y Componentes	Característica	Aplicación	Nº Catálogo
1.	Cable telefónico RJ11		Se utiliza para conectar el módem a la roseta telefónica con conector RJ11.	1013884
2.	Cable Ethernet RJ45		Se utiliza para conectar el módem al equipo de cómputo o a la roseta de distribución RJ45.	1013883

Continu

El uso adecuado de los elementos que intervienen en la construcción de la línea de Cliente permite la óptima funcionalidad de cada uno de ellos en condiciones extremas, de acuerdo con la calidad de los materiales.

### 3.3.3 Construcción de red exterior

Los tipos de Red Exterior pueden ser de las 3 siguientes formas.

- Aérea
- Subterránea
- En Edificios

Instalación del Cordón Acometida Óptico.

Aérea, para el tendido del cordón de acometida se debe cumplir con las siguientes indicaciones:

1. El tendido del cordón de acometida se hace de una sola pieza, es decir, no debe realizarse ninguna añadidura o unión.
2. El recorrido del cordón de acometida debe ser lo más corto posible.
3. Se deben eliminar obstáculos, hasta donde sea posible, desviando el cordón de acometida hasta encontrar un camino libre; o, en caso necesario, se debe solicitar al área correspondiente la instalación de postes de apoyo.
4. Cuando el cordón de acometida pasa junto a un árbol se deben podar solamente las ramas que representen un obstáculo en el recorrido. Telmex cuenta con el permiso correspondiente y además se debe coordinar esta acción con el Cliente, el afectado, o en su caso con la autoridad competente.

Adicionalmente el cordón de acometida se debe proteger con el tubo protector ranurado en los lugares expuestos a rozamientos.

5. Evitar cruzar predios, lotes vacíos o casas. Sólo en casos excepcionales se debe apoyar en fachadas de casas ajenas previa autorización del propietario del inmueble (y, de ser necesario, se debe documentar)
6. Respetar las distancias con otros servicios cuando el cordón de acometida, en su trayectoria, pasa cerca de las líneas de energía eléctrica u otros servicios.
7. El excedente del Cordón de Acometida se debe dejar en Gasa en un lugar que no sea muy visible, dentro del límite del predio en el interior de la casa habitación, sostenido con una argolla y sujetado con cinturones plástico. Esta ubicación se debe acordar y definir con el usuario, como se muestra en la figura 3.7.

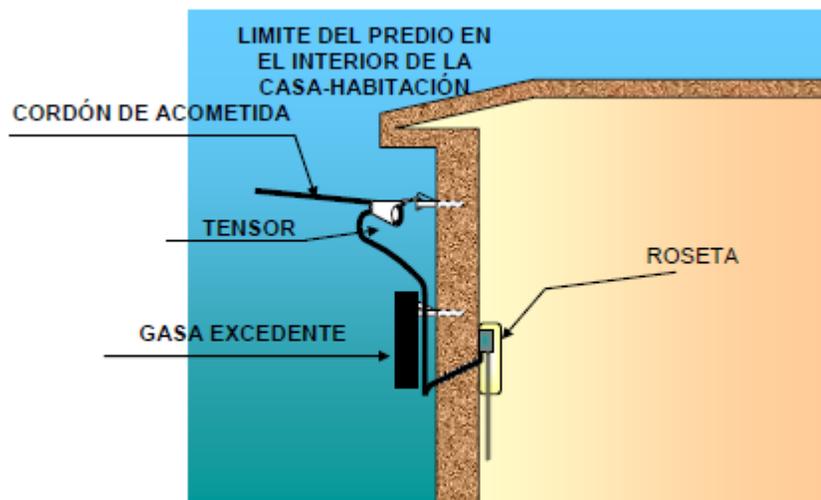


Fig. 3.7 Acomodo de excedente del Cordón de Acometida óptico.

### 3.3.4 Llegada del Cordón de Acometida a la Casa del Cliente

Prepare la llegada del cordón de acometida a la casa del Cliente, de acuerdo a:

- La altura del inmueble requerida para la llegada del cordón de acometida.
- La ubicación determinada para colocar la Roseta Óptica.
- La facilidad de acceso para instalar el remate.
- La fachada del predio.

- El lugar acordado con el Cliente.



Fig. 3.8 Cordón de acometida óptica preconectorizado.

La instalación del cordón de acometida óptica se realiza mediante los conectores preconectorizados SC/UPC en cada extremo, uno de sus extremos se conecta en el puerto correspondiente de la terminal, y el otro extremo en el acoplador de la roseta óptica, de acuerdo a la figura siguiente donde se indican gráficamente los elementos que conforman una Red Exterior.

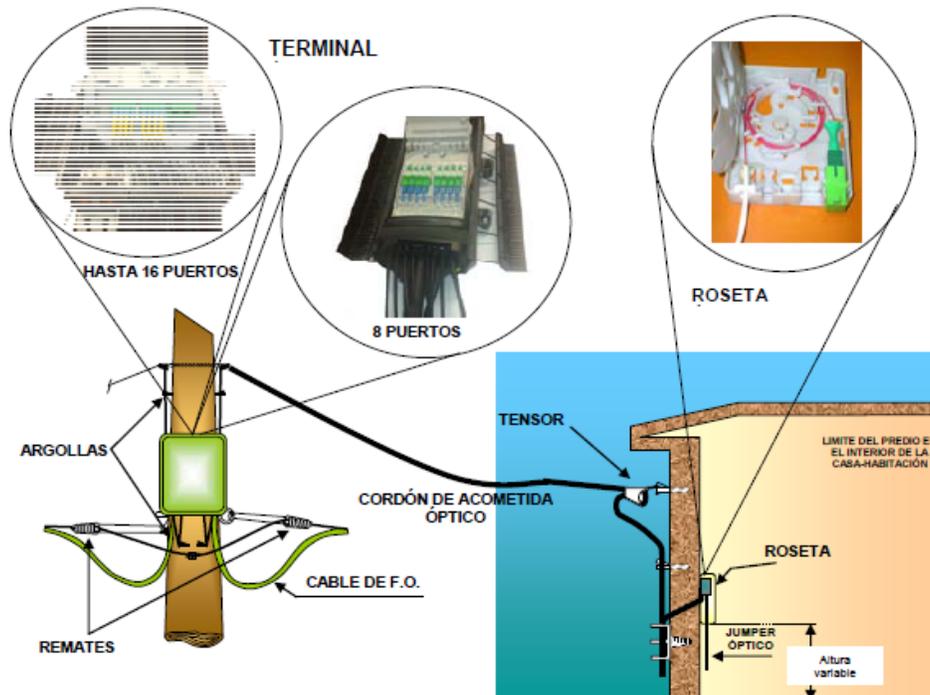


Fig. 3.9 Instalación y elementos de una Red Aérea.

En todas las instalaciones, en la entrada al domicilio se debe hacer un gotero en el aislador tensor con taquete con la finalidad de evitar la penetración de agua al domicilio del cliente. La perforación en la pared, para entrar a la casa del cliente, se realiza de adentro del inmueble hacia fuera con el rotomartillo y usando la broca para concreto de 12.7 mm (1/2") o 5/8" x 12", inclinando hacia abajo y procurando no dañar el acabado del muro.

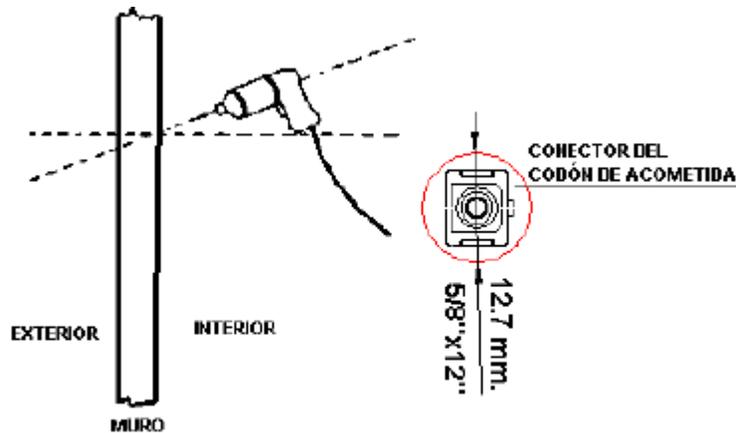


Fig. 3.10 Perforación de pared, para cordón de acometida.

### Acometidas Subterráneas

Generalmente, cuando se construyen fraccionamientos residenciales, el fraccionador debe considerar la instalación telefónica oculta y, para ello, distribuye en toda la urbanización registros y postes de instalación oculta (pedestales) en los que se aloja la red secundaria (cableado y puntos de dispersión).

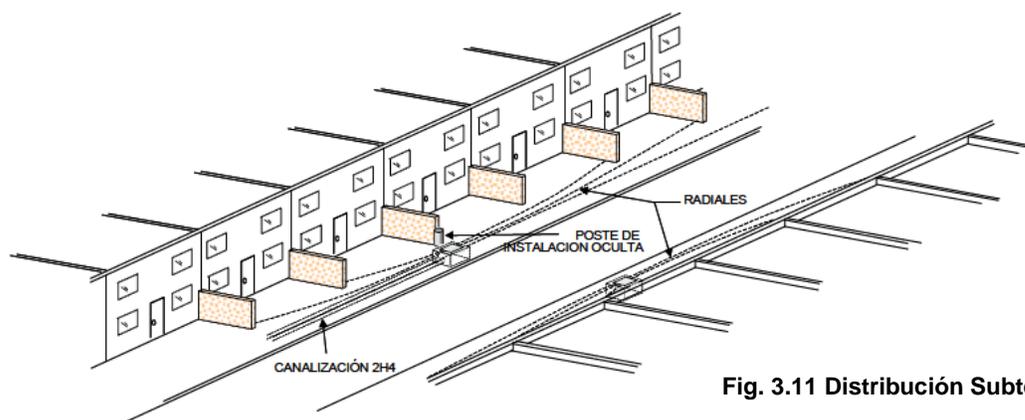


Fig. 3.11 Distribución Subterránea.

Cuando la red se presente en estas condiciones, la construcción se realiza de la siguiente manera:

1. Localizar el registro y la radial de acceso a la vivienda del Cliente, y guiarla utilizando guía de acero con maneral para alambrarla.
2. Realizar el jalado del cordón de acometida óptico a través de la canalización y la radial hasta el domicilio del Cliente.
3. Realizar la conexión del cable entre el punto de dispersión y la Roseta Óptica.

Este cable se instala a través del registro hasta la radial, la cual debe ser poliducto naranja o negro de  $\frac{3}{4}$  " o de 45 mm de diámetro.

### Acometidas en edificios

Cuando la distribución de la red secundaria se ha realizado utilizando la infraestructura (obra civil) de un edificio que cuenta con registros ocultos, la conexión del Cliente se debe realizar utilizando el cordón Óptico (marfil) partiendo con este tipo de cable desde la terminal a la Roseta.

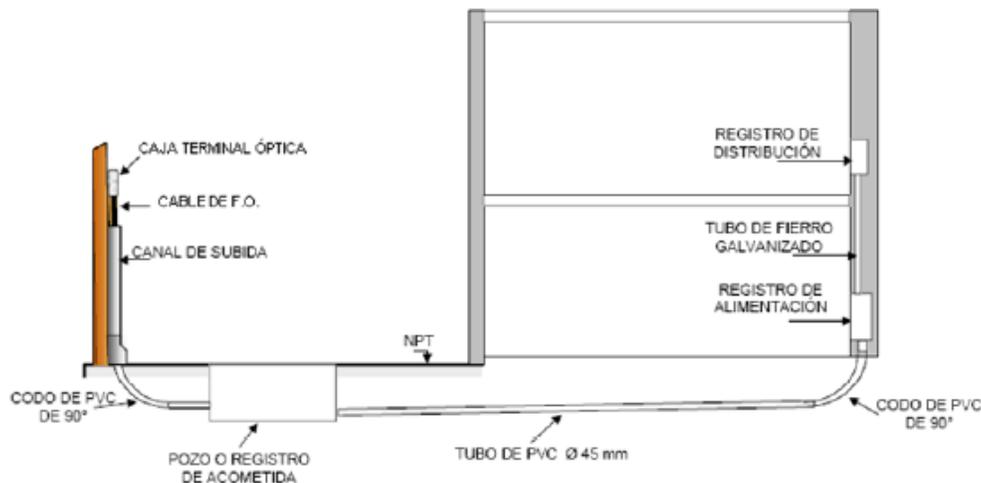


Fig. 3.12 Acometida en el edificio.

Una vez localizada la terminal correspondiente, se debe realizar lo siguiente:

- 1) Localizar la radial que corresponda a la oficina o departamento del Cliente y guiar el cordón utilizando la guía de acero con maneral para alambrarla.
- 2) Instalar la Roseta junto a la salida en el interior del domicilio.
- 3) Conectar el cordón marfil de la terminal en registro a la Roseta.

### 3.5 Construcción red de usuario (interior)

Colocación de la roseta óptica

La roseta óptica debe instalarse a una distancia mínima de 30 cm del contacto eléctrico, en sentido horizontal y de tal manera que la distancia entre ONT y la roseta no sea mayor a 1 m, de acuerdo al documento Instalación de Línea de Cliente (N/03/005).

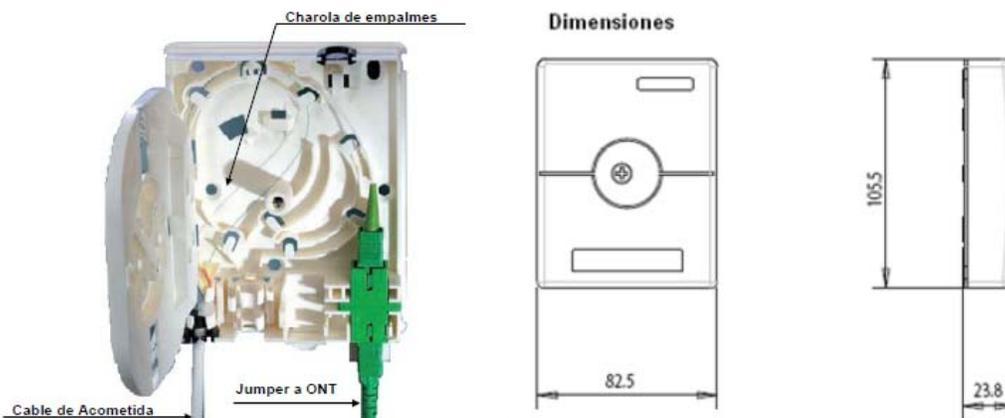


Fig. 3.13 Roseta óptica con sus dimensiones.



Fig. 3.14 Fijación de la Roseta óptica.

### 3.3.6 Colocación y Conexión de la ONT

La ONT se debe ubicar dentro del domicilio, cerca de un contacto de alimentación eléctrica, por lo que se recomienda que el cliente tenga una barra multicontactos con supresor de picos o un regulador de voltaje o UPS y en un lugar seguro, de manera que no quede expuesto al tránsito, ni a sufrir posibles accidentes como golpes, caídas o derramamiento de líquidos.

Una vez situado el lugar de ubicación de la ONT, ésta podrá instalarse fijada al muro o en alguna mesa o mueble, como se muestra en las siguientes figuras.



Fig. 3.15 Ubicación de ONT en mueble.



Fig. 3.16 Ubicación de ONT fijada a la pared.

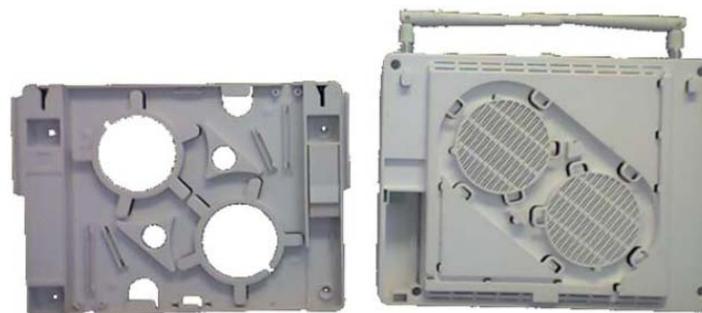


Fig. 3.17 Base y ONT para ser fijada a la pared.

Para la colocación del la ONT en la pared, se fija con 4 taquetes y tornillos la base en la pared y se coloca posteriormente ésta en los puntos indicados en la misma base.

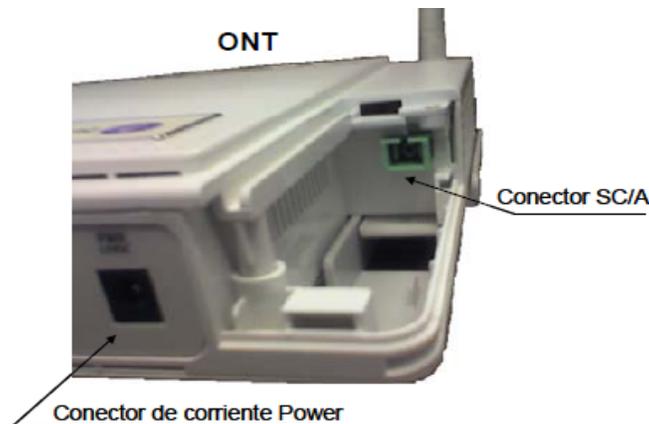


Fig. 3.18 Colocación del conector de la ONT.

De la Roseta óptica a la ONT se conecta con un Jumper con conector SC/APC, incluido con la ONT, como se indica en la figura anterior.

### 3.3.7 Construcción Interior para servicio de Voz analógica

La construcción se debe realizar de acuerdo a los lineamientos establecidos en la Norma de Construcción Instalación de Línea de Cliente (N/03/005).

- Si el cliente ya cuenta con cable interior, y la roseta más cercana no se encuentra a la distancia establecida, será necesario derivar de ella un nuevo cordón (extensión) para instalar una nueva roseta.
- La roseta debe instalarse a una distancia mínima de 30 cm del contacto eléctrico, en sentido horizontal y de tal manera que la distancia entre el módem y la roseta no sea mayor a 1 m.



### 3.3.8 Trayectoria del cable UTP

La trayectoria del cable UTP en el interior de la vivienda, se debe planear considerando lo siguiente:

- Acordar y definir con el cliente la trayectoria del cableado para los servicios contratados, condicionándola a la aplicación de las normas, y sin realizar gastos excesivos de material y tiempo.
- Instalar el cable UTP de una sola pieza (sin añadiduras), partiendo desde la roseta modular superficial con 4 puertos para conectores RJ45 hembra.
- Seguir el camino más corto hacia la roseta modular superficial con un conector RJ45 hembra, y quedar lo más protegido de posibles afectaciones externas (golpes, humedad, escurrimientos, temperaturas extremas, estufas, animales domésticos, etc.).
- Fijar el cable UTP por la parte superior o inferior del muro, con una trayectoria horizontal o vertical y nunca inclinada.
- El cable UTP no se debe instalar bajo alfombras, tapetes o linóleums.
- En instalaciones ocultas dentro de la vivienda, la radial debe ser de un diámetro mínimo de (¾" a ½") y ser ocupada únicamente por el cable UTP. Si la radial estuviera ocupada por cableado eléctrico, no instale el cable UTP en ella. En caso de que esté ocupada por un cordón marfil int.-ext. se tendrá que desconectar, sacar del ducto e introducir el cordón y el UTP al mismo tiempo para que no sufran daño.
- En instalaciones visibles la separación entre cables telefónicos es como máximo de 1 cm; y la separación mínima con cables eléctricos es de 10 cm.
- Revisar y validar la correcta correspondencia de pares de cada una de las extensiones de cable UTP instaladas, con la ayuda del "Probador de Cableado Interior UTP del cliente" (Cat. 1028662)
- En los casos donde queden varios cables juntos y expuestos se debe colocar un Organizador p/cables espiral 1/2" de 2 m (cat. 1029352), para protección misma de los cables y mejor apariencia visual.

Se deben tomar en cuenta las peticiones del cliente acerca de la trayectoria de los cordones condicionándolas a la aplicación de las normas, sin realizar gastos excesivos de material y tiempo.

### 3.3.9 Fijación del Cable UTP y/o Cable marfil Óptico

Una vez definida la trayectoria con el cliente, la fijación del cable UTP se debe realizar de la siguiente manera:

1. Realizar un ligero “Planchado” o alisado con la mano al cable antes de proceder a su fijación.
2. De acuerdo al acabado del muro, fijar el cable por medio de Sujetadores para cordón int/ext, Grapas p/T25, Sujetadores autoadheribles. p/cordón marfil 1 par, Clips de plástico transparentes con adhesivo o con Sujetadores para Cordón Ext/Int marfil 2 ps y UTP con una separación de 30 cm entre puntos de fijación. No coloque puntos de fijación en curvas que forma un cambio de dirección de 90° sino a 3 cm de la misma curva.
3. Si es necesario, realizar una perforación en la parte superior de un muro y junto a un rincón, se debe efectuar con la broca (cat. 1002383) la perforación tan próxima al rincón como sea posible, ubicándose a nivel del taladro para realizarla. Posteriormente, colocar los sellos pasamuros (cat. 1027491) en los orificios realizados.
4. Realizar la fijación del cable en la parte baja de la pared a 30 cm como máximo del piso o sobre zoclos, donde quede menos expuesta a maltrato físico o humedad. Cuando se realice por la parte superior del muro, ésta debe ser una trayectoria horizontal y nunca inclinada o con demasiadas vueltas.
5. Guiar la tubería para realizar el jalado del cordón UTP introduciendo la guía de acero con maneral hasta que salga por el otro extremo de la tubería, asegure al extremo de la guía al cable interior que se va a instalar y regrese la guía realizando así el jalado del cable en la tubería utilizando el lubricante para cableado interior (cat. 1029384).

6. Revisar y validar la correcta correspondencia de pares de cada uno de las extensiones de cable UTP instaladas con la ayuda del "Probador de Cableado Interior UTP del cliente" (cat. 1028662)
7. Realizar la limpieza del lugar de trabajo y retirar el material sobrante.

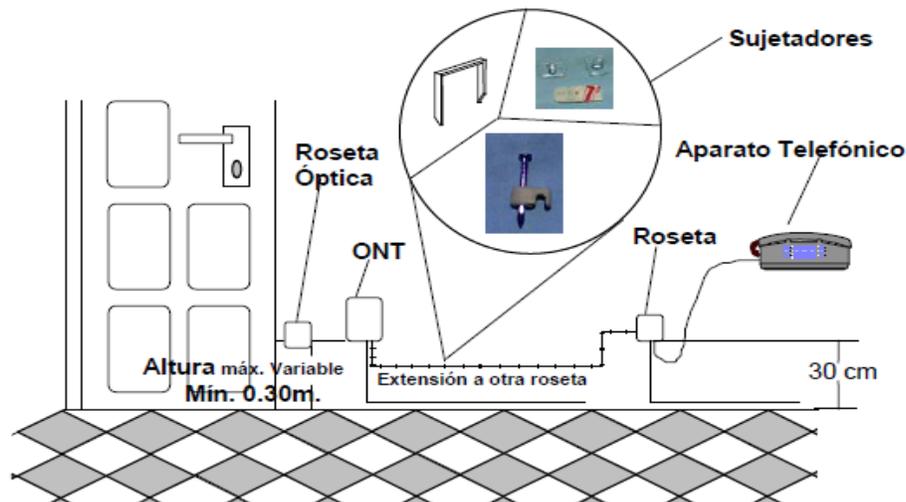


Fig. 3.21 Colocación de Cable Marfil o UTP.

Estos trabajos se deben hacer tomando como referencia el documento de Norma de Instalación de la Red de Usuario para Líneas ADSL 2+ de los Servicios de Voz, Datos Y Video N/03/023.

Una vez concluida la Instalación Interior, se debe verificar la sincronización del Módem, para ello realizar lo siguiente:

1. Cerciorarse que la ONT esté apagada y conectar el Adaptador de Corriente al contacto de energía eléctrica.
2. Conectar el resto de los equipos (Cómputo y Módem) y encenderlos.
3. Encienda la ONT y verifique el estado de los LED's en el Panel Frontal. Existen los LED's (ver figura 3.22).

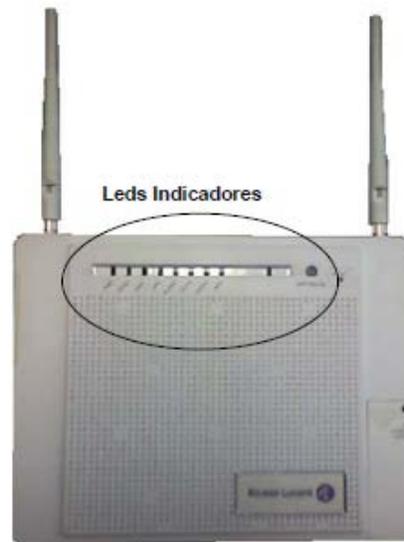


Figura 21.- Estado de conectividad de ONT.

Tabla 3.7 Funcionamiento de ONT.

LED	Estado		Indica que ...
POWER (Encendido)	Apagado (verde sólido)	●	La ONT está conectada a la corriente.
	Parpadeo (rápido) Verde.	●	La ONT se está iniciando (encendido modo de auto prueba)
GPON	(Rojo sólido)	●	Sin señal óptica
	Apagado	○	Sin servicio
	Verde Sólido	●	Con señal óptica
	Parpadeo Verde (lento)	●	Sincronización en proceso
INET	Verde Sólido	●	Conectado a Internet
	Parpadeo (rápido) Verde	●	Esta en proceso de conexión a Internet
	Apagado	○	Sin conexión a Internet
UPG	Apagado	○	Actualización de software correcta.
	Parpadeo (rápido) Verde	●	Actualizando el software
	Parpadeo (rápido) Verde	●	Actualización fallida
ALARM	Apagado	○	Sin alarma
	Verde Sólido	●	No existe alarma con red local Ethernet habilitada
	Rojo (lento) parpadeo	●	Software averiado
	Rojo sólido	●	Hardware averiado
POTS	Verde Sólido	●	El teléfono en algún puerto está desconectado
	Verde parpadeo	●	Al menos un teléfono ha estado desconectado por al menos una hora
	Apagado	○	No existen teléfonos conectados
VIDEO	Verde Sólido	●	La señal RF esta habilitada y la conexión óptica esta bien
	Verde parpadeo	●	Servicio Premium habilitado
	Apagado	○	Fuera de servicio

## Conclusiones

Actualmente la demanda de ancho de banda por parte de los usuarios de las redes cada vez es mayor, debido al surgimiento de nuevos servicios ofrecidos por las operadoras, entre los cuales destacamos; redes privadas virtuales, telefonía sobre IP, videoconferencia, televisión de alta definición, video sobre demanda, juegos en línea.

Los avances en el backbone de las empresas y en las redes internas de los usuarios, unido al formidable crecimiento del tráfico de Internet, acentuaron el problema presente hoy en las redes de acceso; el ancho de banda disponible, formando un cuello de botella en la última milla de la red (la red de acceso), debido a que las tecnologías usadas actualmente (xDSL, HFC, entre otras) no soportan los nuevos servicios.

La tecnología GPON es la culminación de lo mejor de las técnicas BPON y EPON. Hay un consenso de que, en el corto plazo, todo se va a mover a IP (voz sobre IP, video sobre IP, aplicaciones de datos demandantes de banda como “gaming”, “streaming” de video, descargas MPEG3, etc.), y aplicaciones “quadruple play” (incluyendo sistemas de seguridad y vigilancia). Las ventajas de GPON son el principal reclamo para que los grandes operadores se comprometan con el estándar. Si esto pasa, y los operadores se decantan mayoritariamente por esta tecnología, se producirá una reducción notable de costes y la interoperabilidad del equipamiento se acelerará.

El comité FSAN (Full Service Access network) ha estado trabajando en el estándar desde mediados de 2.001, muy poco después de la ratificación del estándar BPON. El comité FSAN se creó por un grupo de proveedores de servicio para facilitar la creación de estándares de equipos de red, que permitiesen interoperabilidad y reducir por tanto el precio del equipamiento.

La tecnología GPON hace más fácil para las redes PON moverse a una topología de “todo IP”, donde los interfaces se muevan desde un transporte ATM a un transporte puro IP sobre interfaces Gigabit Ethernet. GPON consigue tener una distancia y alcance muy grandes que elimina la necesidad de componentes activos en la red de acceso, y sin cambiar la infraestructura física.

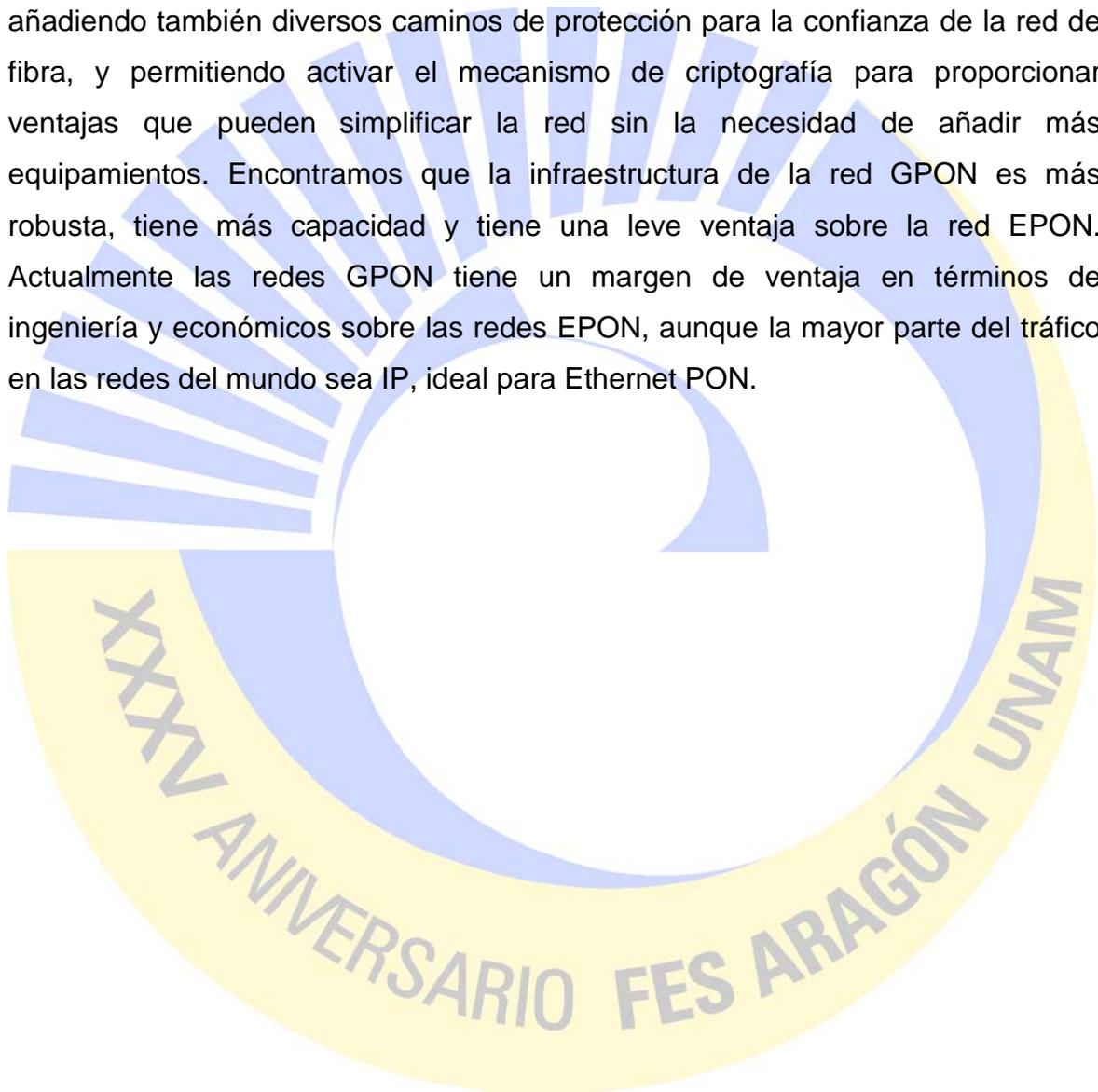
EPON ó Ethernet en la última milla es un estándar que todavía está evolucionando y que proporciona Ethernet para la transmisión de datos. Fue inicialmente desarrollado como una solución “best effort”, es decir no orientada a conexión. Actualmente se han incorporado al estándar protocolo de nivel superior que incluyen características de calidad de servicio. El trabajo sobre el estándar continúa, pero los 1.2 Gbps de ancho de banda simétrico pueden no ser suficientes para las aplicaciones por venir.

GPON se estandarizó en 2.003. GPON utiliza lo mejor de BPON, con su características de calidad de servicio (QoS), y lo mejor de EPON, con su capacidad para transportar y realizar interfaces todo en IP. GPON también proporciona un ancho de banda bastante mayor de 2.4 Gbps en el camino descendente y de 1.2 Gbps en el camino ascendente.

Realizando la transición de BPON a GPON Al realizar este paso de BPON a GPON, hay tres componentes de la arquitectura a considerar: el cable de fibra óptica, la clase de los componentes ópticos, y los ratios de división.

El estudio del dimensionamiento de las redes nos muestra una clara ventaja para una determinada red FTTP basada en GPON sobre una red basada en EPON. Esto se debe a la mayor razón de división en la red GPON, a la tasa de transmisión mayor, a la eficiencia y al ancho de banda, lo que resulta en la reducción de OLTs en más de un factor de más de 2 sobre EPON. Basándonos en el escenario anterior es posible alcanzar una mejoría en los ingresos de dos a tres veces por cada PON, utilizando tecnología GPON en lugar de usar EPON. El

diseñador de redes debe llevar en consideración el hecho que se necesitan menos sistemas y menos redes PON usando GPON, así, reduciendo significativamente los gastos operacionales para la red. Además de eso, el aumento de la flexibilidad puede ser introducido con GPON usando opcionalmente el largo alcance óptico para aumentar la cobertura hacia alejadas áreas demandantes de servicios, añadiendo también diversos caminos de protección para la confianza de la red de fibra, y permitiendo activar el mecanismo de criptografía para proporcionar ventajas que pueden simplificar la red sin la necesidad de añadir más equipamientos. Encontramos que la infraestructura de la red GPON es más robusta, tiene más capacidad y tiene una leve ventaja sobre la red EPON. Actualmente las redes GPON tiene un margen de ventaja en términos de ingeniería y económicos sobre las redes EPON, aunque la mayor parte del tráfico en las redes del mundo sea IP, ideal para Ethernet PON.



## Glosario

**Acceso inalámbrico** Conexión por medio de ondas de radio entre el usuario y la red pública de telecomunicaciones, que puede ser utilizado para la transmisión de voz, datos y video.

**ADSL** Siglas de *Asymmetric Digital Subscriber Line* (Línea Digital Asimétrica).

Tecnología que convierte una línea telefónica convencional (cable de cobre) en un canal de banda ancha de hasta 8 Mbps. Actualmente es la más utilizada para la conexión de voz y acceso a Internet.

**ADSL2+** Siglas de *Asymmetric Digital Subscriber Line Plus* (Línea Digital Asimétrica Avanzada). Tecnología que convierte una línea telefónica convencional (cable de cobre) en un canal de banda ancha de hasta 24 Mbps.

**Área de servicio local** Área geográfica en la que se facturan como llamadas locales las comunicaciones en las que tanto el origen como el destino se encuentran dentro de ella.

**Banda ancha** Término utilizado para designar una comunicación de alta capacidad.

**Banda de frecuencias** Rango entre dos frecuencias de ondas de radio que se asigna para un uso específico.

**By-pass** Término inglés para ruta alterna.

Práctica ilegal en la que se utiliza la red de telecomunicaciones de un proveedor sin pagarlos cargos de interconexión, larga distancia, etc.

**Central telefónica** Lugar (edificio, local, caseta o contenedor), utilizado por una empresa operadora de telecomunicaciones, donde se alberga el equipo de conmutación y los demás equipos necesarios para la operación de las llamadas telefónicas. Es el lugar en donde se establecen conexiones entre los clientes directamente o mediante retransmisiones entre centrales.

**Carrier Ethernet** Es el uso de la tecnología de datos Ethernet de banda ancha con alta disponibilidad usada para el transporte de servicios sobre Protocolo de Internet (IP) y para proporcionar servicios privados con conectividad de datos.

**Congestión** Condición en la que algunos clientes no pueden realizar llamadas o enlaces, debido al gran número de usuarios que desean servicio al mismo tiempo.

**Conmutación** El uso de un mismo circuito para la transmisión de múltiples mensajes, en la que se establece una conexión por un pequeño tiempo para cada uno de ellos

**Conmutación de paquetes** Método de comunicación en el que los mensajes se dividen en partes, las cuales son transmitidas de manera simultánea que los mensajes de otros clientes por el mismo canal de comunicaciones.

**Convergencia** La oferta de servicios de voz, datos y video a través de una misma conexión. Un ejemplo es el *triple play* (triple acceso de video, voz y datos). Si se agregan servicios de telefonía celular se conoce como *quadruple play* (cuádruple acceso).

**Co-ubicación** Colocación de equipos de un concesionario en las instalaciones de otro concesionario con el que tiene celebrado un convenio de interconexión.

Incluye el suministro de energía y facilidades necesarias para su operación, así como el derecho a ingresar a dichas instalaciones.

**DWDM Siglas de Dense Wavelength Division Multiplexing (División compacta de longitudes de onda)** El envío simultáneo de varias señales por una fibra óptica, transmitiendo cada señal a través de una longitud de onda distinta, alcanzando una capacidad de hasta 280 Gbps. El término se refiere a que se utilizan más de 16 longitudes de onda.

**Enlace** Trayecto de comunicación entre dos puntos. Existen distintos tipos, como por ejemplo: enlace digital, enlace coaxial o radio-enlace.

**Espectro radioeléctrico** Rango de frecuencias de ondas de radio utilizadas para los servicios inalámbricos de telefonía, datos y radiodifusión.

**Ethernet** Protocolo de comunicación para conectar computadoras en una red de área local. Admite distintas velocidades según el tipo de hardware utilizado, siendo las más comunes 10 Mbps y 100 Mbps

(comúnmente denominadas Ethernet y Fast Ethernet respectivamente).

**Fibra óptica** Filamento de Fibra de vidrio por la que se envía información por medio de rayos de luz. Tiene una mayor capacidad que los cables metálicos y no sufre interferencia por los campos electromagnéticos.

**Frame Relay** Técnica de comunicación para redes locales separadas geográficamente a velocidades de 64 Kbps a 2,048 Kbps.

**FTTH** Siglas de *Fiber To The Home*. Término para indicar que una red de telecomunicaciones ha extendido la fibra óptica desde su equipo óptico central hasta el sitio del cliente para proporcionar servicios de banda ancha.

**Gbps** Abreviación de gigabits por segundo. Unidad de capacidad de transmisión. Cada gigabit equivale a mil millones de bits o a mil megabits.

**GPON** Siglas de Gigabit Passive Optical Network Tecnología óptica para conectar clientes a una red de telecomunicaciones por medio de fibra óptica que se ramifica con dispositivos ópticos pasivos (no requieren alimentación) para

proporcionar servicios de muy alta velocidad.

**IMS** Siglas de *IP Multimedia Subsystem*: Es el core de la arquitectura de Red de Nueva Generación y está definido para la integración y control de todo tipo de servicios, tanto actuales como nuevos, basados en IP.

**Interconexión** Conexión entre las redes públicas de diferentes proveedores.

**Internet** Término inglés para red interconectada.

Es el sistema mundial de conexión de equipos de cómputo, a través del cual se prestan servicios de correo electrónico, envío de archivos y acceso a la red mundial de datos (*World Wide Web*).

**IP** Siglas de *Internet Protocol* (Protocolo de Internet). Conjunto de reglas para el envío de información utilizado en la red mundial de datos y que está basado en la formación de paquetes de información de longitud variable.

**Kbps** Abreviación de kilobits por segundo. Unidad de velocidad de transmisión de un canal de

comunicaciones. Cada kilobit equivale a mil bits.

**Lada enlaces** Enlaces digitales dedicados que transmiten información a velocidades que van de 64 Kbps hasta 10 Gbps.

**Mbps** Abreviación de Megabits por segundo. Unidad de velocidad de transmisión de un canal de comunicaciones. Cada megabit equivale a un millón de bits.

**MPLS** Siglas de *Multiprotocol Label Switching* (Conmutación Multi-protocolo mediante Etiquetas) Protocolo para formar redes privadas virtuales a través de redes IP. Se denomina multi protocolo porque está diseñado para operar con distintas tecnologías como ATM, IP o Frame Relay. Está basado en la transmisión de paquetes de información que incluyen la dirección de destino en una "etiqueta" al inicio de los mismos.

**NGN** Siglas de *Next Generation Network* (Red de Nueva Generación), Arquitectura de comunicaciones basada en protocolos de Internet para el manejo de voz, datos y video.

**Protocolo** Conjunto de reglas para el intercambio de información.

**Red de acceso** Conexión que va desde el domicilio del cliente a la central telefónica. Puede ser alámbrica (por cobre o por fibra óptica) o inalámbrica (utilizando el espectro radioeléctrico).

**Red inteligente** Plataforma basada en la interconexión de nodos en donde residen aplicaciones informáticas, centrales de conmutación y sistemas de bases de datos en tiempo real, enlazados mediante sistemas de señalización. Se utiliza para proveer servicios como los números 800, 900, Televoto y Telcard, entre otros.

**Red local** Red de telecomunicaciones para un área determinada, denominada área de servicio local y que antiguamente correspondía a una ciudad.

**Red pública de telecomunicaciones** Red de telecomunicaciones que se explota para prestar servicios de telecomunicaciones al público en general.

**Renta de circuitos** Contratación cargada a un operador, para que pueda hacer uso de los circuitos de

nuestra red pública de telecomunicaciones.

**SDH** Siglas de *Synchronous Digital Hierarchy* (Jerarquía Digital Síncrona) Estándar internacional para la transmisión de información a través de fibra óptica.

**SDH de nueva generación** SDH que mejora el aprovechamiento del ancho de banda disponible.

**Servicios de valor agregado** Servicios adicionales que ofrece un concesionario a sus clientes.

**Tarifa de liquidación** Aquella que cobra un operador a otro por terminar una conexión con clientes de su propia red.

**Tráfico Las llamadas,** datos o información que circulan a través de la red de telecomunicaciones.

**Transporte** La transmisión de llamadas entre dos localidades entre las que el operador contratado por el cliente no cuenta con infraestructura de larga distancia.

**Triple Play** Es la prestación de telefonía, acceso a Internet y televisión a través de un mismo acceso de banda ancha.

**VDSL** Siglas de *Very high bit-rate Digital Subscriber Line*:

Es una tecnología de acceso de banda ancha para par de cobre, que utiliza cuatro canales para la transmisión de datos, dos para descarga y dos para subida, con lo cual se aumenta la potencia de transmisión de manera sustancial.

**VDSL2** Siglas de *Very-High-Bit-Rate Digital Subscriber Line 2*.

Es el estándar DSL para par de cobre más reciente y avanzado, diseñado para soportar servicios "Triple Play", incluyendo voz, video, datos, televisión de alta definición (HDTV) y juegos interactivos.

**VoIP** Siglas de *Voice over Internet Protocol* (voz sobre protocolo de Internet). Transmisión de voz a través de una red que utiliza el protocolo de Internet.

**VPN** Siglas de *Virtual Private Network* (red privada virtual).

Tipo de comunicación que un cliente percibe como si fuese una red privada pero que está montada en la red pública de telecomunicaciones.

**VPN IP/MPLS** Servicio de Red Privada Virtual con velocidades de acceso que van de 64 Kbps a 155 Mbps.

**Web** Forma abreviada de *World Wide Web* (WWW) o red mundial. Sistema de manejo de documentos realizado a través de Internet.

Término Definición

**WiFi** Marca de la WiFi Alliance, Tecnología de comunicación inalámbrica que cumple los estándares para redes de área local y que es ampliamente utilizada para el acceso a Internet con una cobertura

por cada antena instalada de hasta 100 metros

**WiMAX** Siglas de *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas). Estándar de transmisión inalámbrica con una cobertura de hasta 50 kilómetros por cada antena instalada.

## Abreviaturas

**APD** Fotodiodo de avalancha (avalanche photodiode)

**ATM** Modo de transferencia asíncrono (asynchronous transfer mode)

**BER** Tasa de errores en los bits (bit error ratio)

**CID** Dígitos idénticos consecutivos (consecutive identical digit)

**DFB** Láser con realimentación distribuida (distributed feedback laser)

**DSL** Línea de abonado digital (digital subscriber line)

**E/O** Eléctrico/óptico (electrical/optical)

**FEC** Corrección de errores en recepción (forward error correction)

**FTTH** Fibra a la vivienda (fibre to the home)

**GPON** Red óptica pasiva con capacidad de gigabits (gigabit-capable passive optical network) Rec. UIT-T G.984.2 (03/2003) 3

**MLM** Modo multilongitudinal (multi-longitudinal mode)

**MPN** Ruido de partición de modo (mode partition noise)

**NRZ** Sin retorno a cero (non return to zero)

**O/E** Óptico/eléctrico (optical/electrical)

**OAN** Red de acceso óptico (optical access network)

**ODF** Repartidor óptico (optical distribution frame)

- ODN** Red de distribución óptica (optical distribution network)
- OLT** Terminación de línea óptica (optical line termination)
- ONT** Terminación de red óptica (optical network termination)
- ONU** Unidad de red óptica (optical network unit)
- ORL** Pérdida de retorno óptica (optical return loss)
- PIN** Fotodiodo sin ganancia por avalancha interna (photodiode without internal avalanche gain)
- PON** Red óptica pasiva (passive optical network)
- PRBS** Secuencia pseudoaleatoria de bits (pseudo-random bit sequence)
- RDSI** Red digital de servicios integrados
- RDSI-BA** Red digital de servicios integrados de banda ancha
- RMS** Valor cuadrático medio (root mean square)
- SDH** Jerarquía digital síncrona (synchronous digital hierarchy)
- SLM** Modo monolongitudinal (single-longitudinal mode)
- SNI** Interfaz de nodo de servicio (service node interface)
- SOA** Amplificador óptico de semiconductores (semiconductor optical amplifier)
- TC** Convergencia de transmisión (transmission convergence)
- TDM** Multiplexación por división en el tiempo (time division multiplexing)
- TDMA** Acceso múltiple por división en el tiempo (time division multiple access)
- UI** Intervalo unitario (unit interval)
- UNI** Interfaz usuario-red (user network interface)
- WDM** Multiplexación por división de longitud de onda (wavelength division multiplexing)

## Bibliografía

1. B. Mukherjee, Optical Communication Networks, Editorial McGraw-Hill, New York, 1997.
2. Landee, Robert W., Davis, Donovan C. & Albrecht, Albert P. Electronics designers´handbook, second edition, McGraw Hill.
3. FTTH Council [Online]. Available: <http://www.ftthcouncil.org>
4. Norma de Construcción Instalación de Línea de Cliente, N/03/005.
5. Norma de Instalación de la Red de Usuario para Líneas ADSL 2+ de los Servicios de Voz, Datos y Video. N/03/023.
6. Norma Oficial Mexicana (NOM 001SEDE-1999 "INSTALACIONES ELECTRICAS" (UTILIZACIÓN))
7. Seminario GPON Inttelmex, Nueva Tecnología, 2008
8. S. C. Grady, The book on FTTX From Design To Deployment: A Practical Guide To FTTX Infrastructure, ADC Telecommunications INC, 2005.
9. SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES, Secciones digitales y sistemas digitales de línea –Sistemas de línea óptica para redes de acceso y redes locales, **G.984.2** SECTOR DE NORMALIZACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES DE LA UIT **Enmienda 1** (02/2006)
10. The Gigabit Ethernet Passive Optical Network (GEPON). Disponible en: <http://www.2fonet.com/home/tuolima-tecnologia-gepon/>

## Referencias electrónicas

<http://www.adckrone.com/eu/es/webcontent/support/PDFs/whitepapers/105525ES.pdf>  
<http://www.ctv.es/USERS/carles/PROYECTO/cap1/cap1.html>  
[http://www.publiboda.com/publicidad/publifaq/1\\_186\\_es.html](http://www.publiboda.com/publicidad/publifaq/1_186_es.html)  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto\\_Raman](http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Raman)