

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE INGENIERÍA**

**DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO UTILIZANDO TECNOLOGÍA  
APON (ATM PASSIVE OPTICAL NETWORK) PARA ANDINATEL S.A.  
EN LA CIUDAD DE QUITO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**CRISTIAN GERARDO GUIJARRO CUEVA**

**DIRECTOR: MSc. MARÍA SOLEDAD JIMÉNEZ**

**Quito, Abril 2005**

## DECLARACIÓN

Yo, Cristian Gerardo Guijarro Cueva, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la ley, Reglamento de Propiedad Intelectual y por la normatividad institucional vigente.



---

**Cristian Guijarro Cueva**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Cristian Gerardo Guijarro Cueva bajo mi supervisión.



---

**MSc. María Soledad Jiménez**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi hija *Nathaly Cristina*, a mi esposa *María Elena* y a mi madre *Sonia Rosario*.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios porque siempre ha guiado mis pasos por el camino correcto.

A la Ing. María Soledad Jiménez por su acertada dirección, por su dedicación y porque supo confiar en mi persona.

A mi esposa la que con su amor, paciencia y dedicación supo alentarme y no dejarme decaer en ningún momento.

A toda mi familia, a mi madre, a mis abuelos, a mis tíos - hermanos y mis primos que siempre me han apoyado y han confiado en mi.

A mis amigos, compañeros y a todas las personas que de una u otra forma han colaborado para que pueda culminar mi proyecto de titulación.

Y de manera especial quiero agradecer a quienes no confiaron, a quienes me desalentaron y creyeron que no lo lograría, eso me dio más fuerza para culminar mi carrera.

## RESUMEN

En el primer capítulo se realiza un estudio de las comunicaciones ópticas, considerando aspectos importantes de las características de la fibra óptica, conceptos de propagación y parámetros de transmisión, también se realiza un estudio de los emisores de luz y detectores usados en comunicaciones ópticas, tipo de modulaciones empleadas, multiplexación y una introducción a las redes de fibra óptica.

Se estudia la tecnología ATM indicando sus principales características y modos de operación, se realiza también una descripción de la Jerarquía Digital Sincrónica (SDH). Posteriormente se revisan las principales tecnologías de acceso utilizadas en la actualidad indicando las características de cada una de las tecnologías, además se describen los servicios ofrecidos por las tecnologías de banda ancha. Finalmente se estudia la tecnología APON, base del presente proyecto, en la cual se revisa las características de funcionamiento, arquitectura, estudio de la planta externa pasiva y se realiza una comparación con las demás tecnologías PON utilizadas.

En el segundo capítulo se realiza el diseño de la red de acceso PON, para lo cual se efectúa una encuesta la cual es base para justificar el proyecto y tomar referencias para el dimensionamiento de los equipos a utilizar, se realiza un estudio en base a posibles usuarios de la red tomando como referencia el crecimiento de clientes corporativos de ANDINADATOS en la ciudad de Quito. Finalmente se estudian los equipos a ser utilizados para el diseño de la red y los requerimientos de planta externa así como de su ubicación en la zona escogida para el dimensionamiento.

En el tercer capítulo se hace un estudio de los costos necesarios para la implementación de la red diseñada, se toma en cuenta políticas económicas de ANDINATEL, pues el diseño se realiza en la perspectiva de que eventualmente podría ser implementado en la infraestructura de la empresa.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones respectivas del proyecto.

## PRESENTACIÓN

Las tecnologías de banda ancha han tenido un crecimiento exhaustivo en los últimos tiempos, de esta manera han surgido soluciones alámbricas e inalámbricas con gran variedad de servicios y precios más bajos para el cliente. Dentro de estas tecnologías aparece FTTx (*Fiber To The*) como una respuesta para superar inconvenientes como los dados cuando se usa en redes de acceso el cobre como medio de transmisión. La fibra óptica permite utilizar más ancho de banda para el usuario con la ventaja de ser un medio de transmisión confiable y más flexible. Sin embargo, la tecnología PON permite usar fibra óptica en redes de acceso con su planta externa completamente pasiva, sin el uso de repetidores ni elementos activos. La utilización de ATM permite la integración de servicios y brindar al usuario calidad de servicio mediante la prioridad de tráfico.

En este proyecto de titulación se realiza un diseño para implementar APON (*ATM Passive Optical Network*) a un determinado sector en la ciudad de Quito, previo un estudio de factibilidad que permitirá justificar dicho proyecto, está dirigido exclusivamente a clientes corporativos que demandan más ancho de banda y mejores garantías en el servicio contratado por ellos.

APON se presenta como una solución en redes de acceso, en un mercado en el cual la tecnología xDSL se encuentra en su mayor apogeo, pero que sin embargo no satisface completamente las necesidades de los clientes.

<b>CAPÍTULO 1.</b>	<b>4</b>
<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	<b>4</b>
<b>1.1. COMUNICACIONES ÓPTICAS</b>	<b>4</b>
<b>1.1.1. CONCEPTOS DE PROPAGACIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA</b>	<b>5</b>
1.1.1.1. Refracción	5
1.1.1.2. Índice de Refracción	6
1.1.1.3. Reflexión	6
1.1.1.4. Ángulo crítico de reflexión	7
1.1.1.5. Apertura numérica	8
1.1.1.6. Clasificación de la Fibra óptica	9
a. Fibra multimodo de índice escalonado	9
b. Fibra multimodo de índice gradual	9
c. Fibra monomodo	10
<b>1.1.2. PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN</b>	<b>10</b>
1.1.2.1. Atenuación en la Fibra Óptica	11
a. Dispersión de Rayleigh	11
b. Absorción de luz	12
c. Curvatura en la fibra	12
1.1.2.2. Dispersión	12
a. Dispersión modal	12
b. Dispersión en el material	13
c. Dispersión en la guía de onda	13
1.1.2.3. Ancho de Banda	13
<b>1.1.3. EMISORES DE LUZ PARA COMUNICACIONES POR FIBRA ÓPTICA</b>	<b>14</b>
1.1.3.1. Diodos Láser de Banda Estrecha	15
a. Diodo láser DBR	16
b. Diodo láser DFB	17
1.1.3.2. Láseres Ópticos Amplificadores	18
1.1.3.3. Diodo Láser VCSEL	18
<b>1.1.4. DETECTORES ÓPTICOS</b>	<b>20</b>
<b>1.1.5. MODULACIÓN Y MULTIPLEXACIÓN</b>	<b>23</b>
1.1.5.1. Modulación	23
a. Modulación analógica	23
b. Modulación digital	24
1.1.5.2. Multiplexación WDM	25
<b>1.1.6. REDES DE FIBRA ÓPTICA</b>	<b>26</b>
1.1.6.1. Topologías de red de Fibra Óptica	27
<b>1.2. TECNOLOGÍA ATM</b>	<b>29</b>
<b>1.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA TECNOLOGÍA ATM</b>	<b>29</b>
1.2.1.1. Tipos de interfaces	30
1.2.1.2. Formato de celdas ATM	30
<b>1.2.2. MODELO DE REFERENCIA ATM</b>	<b>31</b>
1.2.2.1. Capa Física	32
a. Subcapa PMD	32
b. Subcapa TC	32
1.2.2.2. Capa ATM	33
1.2.2.3. Capa de adaptación ATM (AAL)	33
a. Capa de convergencia	33
b. Capa de Segmentación y reensamblaje	33



1.2.2.4. Funciones de capa superior	34
<b>1.2.3. CONEXIONES LÓGICAS</b>	<b>34</b>
<b>1.2.4. CALIDAD DE SERVICIO</b>	<b>36</b>
1.2.4.1. Clases de Calidad de Servicio	37
1.2.4.2. Clases de servicio	38
<i>a. Servicios en tiempo real</i>	38
<i>b. Servicios en tiempo no real</i>	38
<b>1.3. JERARQUÍA DIGITAL SINCRÓNICA (SDH)</b>	<b>39</b>
1.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA TECNOLOGÍA SDH	39
1.3.2. ESTRUCTURA DE LA TRAMA SDH	39
1.3.3. MULTIPLEXACIÓN SDH	41
1.3.4. ELEMENTOS DE UNA RED SDH	42
1.3.4.1. Multiplexor terminal	42
1.3.4.2. Regenerador	42
1.3.4.3. Multiplexor Add/Drop	43
<b>1.4. PRINCIPALES TECNOLOGÍAS EN REDES DE ACCESO</b>	<b>44</b>
1.4.1. TECNOLOGIA xdsl	45
1.4.1.1. ADSL	45
1.4.1.2. HDSL	47
1.4.1.3. VDSL	48
1.4.1.4. SDSL	48
1.4.1.5. G.SHDSL	48
1.4.2. RDSI	49
1.4.3. TECNOLOGÍA HFC	50
1.4.4. REDES DE ACCESO INALÁMBRICO	52
1.4.4.1. LMDS	52
1.4.4.2. MMDS	53
1.4.4.3. Tecnología inalámbrica móvil	54
1.4.4.4. Redes de Acceso Satelitales	55
1.4.5. REDES DE ACCESO POR FIBRA ÓPTICA	57
1.4.5.1. Introducción a FTTx	57
1.4.5.2. FTTx PON	58
<b>1.5. SERVICIOS EN SISTEMAS DE BANDA ANCHA</b>	<b>61</b>
<b>1.6. TECNOLOGÍA APON</b>	<b>62</b>
1.6.1. GENERALIDADES	63
<i>a. Terminal de línea óptica (OLT)</i>	63
<i>b. Unidad de red óptica (ONU)</i>	64
<i>c. Red de distribución Óptica (ODN)</i>	65
1.6.2. FUNCIONAMIENTO	65
1.6.3. TIPOS DE PONS	68
1.6.4. ARQUITECTURA FTTX PON	73
1.6.5. RED DE DISTRIBUCIÓN ÓPTICA APON	75
1.6.5.1. Splitters	77
1.6.5.2. Equipo Activo	79
1.6.6. INSTALACIÓN DE UNA RED PON	79
<i>a. Fibra</i>	80
<i>b. Splitters, patch panels y manejo de fibras</i>	81
<i>c. Empalmes</i>	81
<i>d. Terminales Drop</i>	82

<b>CAPÍTULO 2.</b>	<b>83</b>
<b>DISEÑO DE LA RED APON</b>	<b>83</b>
2.1. INTRODUCCIÓN	83
2.2. RED DE FIBRA ÓPTICA DE ANDINATEL EN LA CIUDAD DE QUITO	85
2.3. PLATAFORMA DE LA RED DE DATOS DE ANDINATEL S.A.	90
2.4. ANÁLISIS DE DEMANDA DE LAS PRINCIPALES EMPRESAS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO	91
2.5. DIMENSIONAMIENTO DE LA RED	93
2.5.1. CONSIDERACIONES INICIALES	93
2.5.2. PROYECCIÓN DE USUARIOS	95
2.5.3. DIMENSIONAMIENTO DE LOS NODOS	98
2.5.4. DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ÓPTICA	107
2.6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA EL EQUIPAMIENTO DE LA RED APON	111
2.7. TIPO DE FIBRA ÓPTICA	118
2.8. TOPOLOGIA DE LA RED PON	121
<b>CAPÍTULO 3.</b>	<b>123</b>
<b>ANÁLISIS DE COSTOS</b>	<b>123</b>
3.1. INVERSIÓN DE EQUIPOS EN LA OFICINA CENTRAL Y DE USUARIO	124
3.2. INVERSIÓN DE EQUIPAMIENTO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN ÓPTICA	126
3.3. COSTOS DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN, MANTENIMIENTO DE LA RED	128
3.4. COSTO TOTAL DE LA RED APON	129
<b>CAPÍTULO 4.</b>	<b>133</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>133</b>
4.1. CONCLUSIONES	133
4.2. RECOMENDACIONES	136

## BIBLIOGRAFIA

### ANEXOS

- A1. FORMATO DE ENCUESTA
- A2. TABULACIÓN DE LA ENCUESTA
- A3. SOLUCIONES ALCATEL 7340 FTTU
- A4. CABLES DE FIBRA ÓPTICA
- A5. TABLA DE DISTRIBUCIÓN NORMAL ESTÁNDAR

# CAPÍTULO 1.

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1.1. COMUNICACIONES ÓPTICAS

En la actualidad la fibra óptica es considerada como el medio de transmisión de información más avanzado en los procesos de telecomunicaciones, entre sus principales características se pueden mencionar: bajas pérdidas de señal, alta confiabilidad debido a la inmunidad al ruido y la interferencia, baja atenuación, seguridad en el transporte de información, además brinda más ancho de banda en relación a otros medios guiados utilizados en telecomunicaciones. Sus dimensiones más reducidas y su peso se traducen en economía de transporte. Un cable de fibra óptica tiene un diámetro más pequeño y es más ligero que un cable de cobre de capacidad similar. <sup>[6]</sup>

Los cables de fibra óptica son mas resistentes a los cambios ambientales, funcionan sobre una variación más grande de temperatura que sus contrapartes metálicos, los cables de fibra son menos afectados por líquidos corrosivos y gases, pueden usarse en condiciones peligrosas de alta tensión, ya que no poseen componentes conductivos, es decir, tienen la capacidad de tolerar altas diferencias de potencial sin ningún circuito adicional de protección.

Todas estas ventajas han hecho que este medio de transmisión sea considerado como una de las mejores alternativas para solucionar los cuellos de botella en las redes de acceso que hacen que el ancho de banda disponible al usuario sea limitado y por consiguiente que todos los nuevos servicios que éstos demandan no puedan ser ofrecidos. Las redes ópticas pasivas (PON, *Passive Optical Network*) se han convertido actualmente en una de las mejores opciones tecnológicas para redes de acceso.

En las telecomunicaciones por fibra óptica se utilizan las longitudes de onda del infrarrojo cercano del espectro electromagnético, o sea de 800 nm a 1600 nm, siendo los valores preferidos los de 850 nm, 1300 nm y 1550 nm; estas zonas son conocidas como ventanas ópticas y son mayormente utilizadas porque presentan menor atenuación.

### 1.1.1. CONCEPTOS DE PROPAGACIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA <sup>[1] [2] [3]</sup>

Para describir los mecanismos de propagación de la luz a través de una fibra óptica se usan las leyes de la óptica geométrica, aproximación suficiente para entender las principales características de la fibra como medio de transmisión de un sistema de comunicaciones, para un análisis más riguroso se requiere adicionalmente conceptos de teoría electromagnética, no considerados por no ser tema de estudio en el presente proyecto.

Los sistemas de comunicaciones ópticas emplean como medio típico de transmisión la fibra óptica que puede ser de vidrio, plástico o sílice; tiene un núcleo por el cual viaja el haz de luz, conocido como "core" y una cubierta óptica que rodea al núcleo llamada "cladding", además está provista de uno o más recubrimientos mecánicos. La función principal del *cladding* es la de garantizar que muy poca luz se pierda mientras se propaga a lo largo del núcleo de la fibra, esto es posible ya que el *cladding* tiene un índice de refracción ligeramente menor al del *core*.

#### 1.1.1.1. Refracción

Si un rayo luminoso incide con un ángulo  $\alpha$  de modo oblicuo desde una sustancia ópticamente menos densa con índice de refracción  $n_1$  a otra más densa de índice de refracción  $n_2$ , su dirección de propagación se quiebra y su trayectoria continúa en la segunda sustancia con un ángulo de refracción  $\beta$ , tal como se muestra en la figura 1.1.

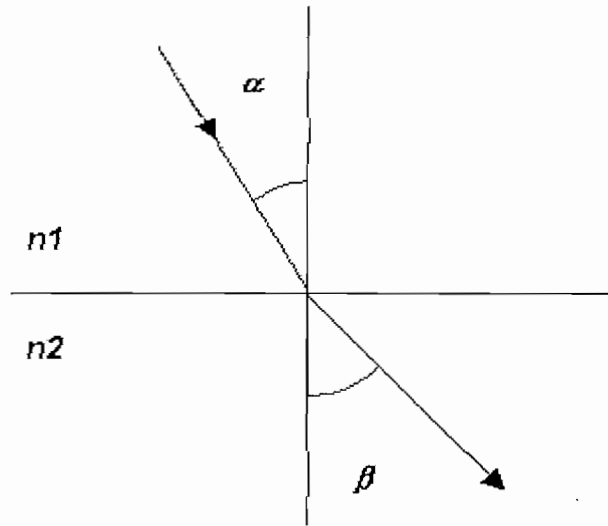


Figura 1.1. Refracción de un haz luminoso entre dos medios con distintos índices de refracción [1]

#### 1.1.1.2. Índice de Refracción

El índice de refracción teórico de un medio, se define como la relación existente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad en ese medio, se lo representa con la siguiente relación matemática:

$$n = \frac{c}{v}$$

donde:

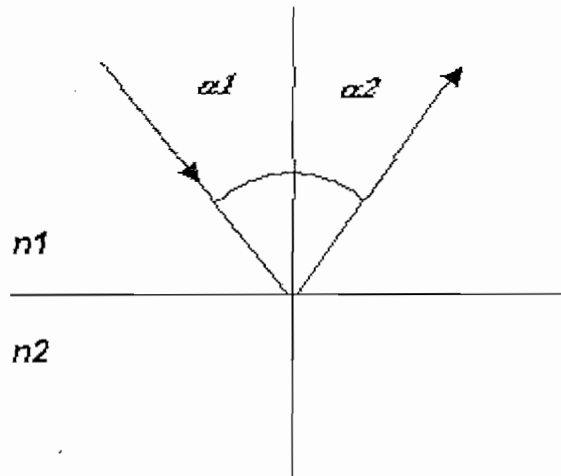
$c$  representa la velocidad de propagación de la luz en el vacío, su valor es ( $3 \times 10^8$  m/s).

$v$  representa la velocidad de propagación de la onda lumínica a través del medio de transmisión considerado.

#### 1.1.1.3. Reflexión

Cuando un rayo luminoso cambia de dirección al incidir sobre la superficie de un medio con índice de refracción menor, se refleja. El ángulo de incidencia y el

ángulo de reflexión que forma la onda luminosa con la perpendicular a la superficie de separación son iguales, tal como se muestra en la figura 1.2.



**Figura 1.2. Reflexión de un haz luminoso entre dos medios con distintos índices de refracción <sup>[1]</sup>**

El índice de refracción  $n2$  es menor al índice de refracción  $n1$ . El ángulo  $\alpha1$  es el ángulo de incidencia y es igual al ángulo de reflexión  $\alpha2$ .

#### 1.1.1.4. Ángulo crítico de reflexión

Es el valor mínimo necesario del ángulo de incidencia para que se produzca la reflexión. Las ondas lumínicas que tienen ángulos de incidencia menores al ángulo de crítico se refractan en el medio que posee un índice de refracción menor.

El ángulo crítico está dado por la siguiente relación:

$$\theta_c = \text{Sen}^{-1}\left(\frac{n2}{n1}\right)$$

El cociente entre el seno del ángulo de incidencia  $\alpha$  y el seno del ángulo de refracción  $\beta$  es constante e igual a la relación de las velocidades de propagación en ambas sustancias, a esta relación se denomina Ley de refracción de Snell:

$$\frac{\text{sen}\alpha}{\text{sen}\beta} = \frac{v1}{v2} = \frac{n2}{n1}$$

Cuando se considera que  $n1 > n2$  el ángulo de refracción es mayor que el ángulo de incidencia, a medida que aumentamos el ángulo de incidencia y el ángulo de refracción llega a alcanzar los  $90^\circ$ , el ángulo de incidencia se denomina *ángulo crítico*. Cuando el ángulo de incidencia sobrepasa el ángulo crítico ya no hay onda refractada, únicamente reflejada. A este fenómeno se le conoce como *reflexión interna total* (TIR). Esta es la propiedad por la cual la luz es capaz de propagarse a través de la fibra. En la figura 1.3 se muestra el incremento del ángulo de incidencia.

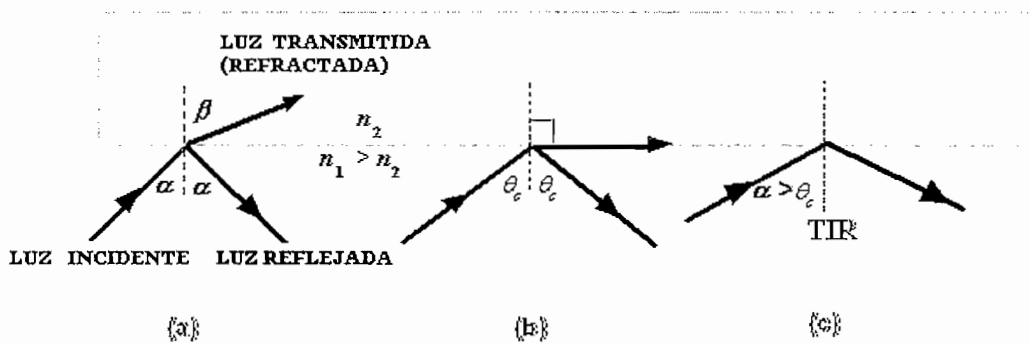


Figura 1.3. Efecto de incremento del ángulo de incidencia (a)  $\alpha < \theta_c$ , (b)  $\alpha = \theta_c$ , (c)  $\alpha > \theta_c$  y reflexión total interna [4]

#### 1.1.1.5. Apertura numérica

Al realizarse el acoplamiento entre la onda lumínica emitida por la fuente de luz y el medio de transmisión, la onda sufre ciertas pérdidas relacionadas con el desacoplamiento del área y de la apertura numérica. El desacoplamiento se presenta cuando el haz de emisión de luz de la fuente es mayor que el área del núcleo de la fibra. La apertura numérica determina el rango de pulsos lumínicos que pueden acoplarse y propagarse por el núcleo de la fibra óptica. La apertura numérica depende exclusivamente de los materiales de los cuales están hechos

el núcleo y el revestimiento, cuanto más sean parecidos sus índices de refracción, menor será el valor resultante de apertura numérica.

#### **1.1.1.6. Clasificación de la Fibra óptica**

Las fibras ópticas pueden clasificarse atendiendo diferentes parámetros ópticos, geométricos o dinámicos. Lo más usual es clasificarlas por el número de modos transmitidos. Los modos equivalen a formas diferentes de propagación de las ondas, éstos se obtienen de la ecuación de propagación de la onda que tiene varias soluciones (modos).

La clasificación de las fibras se puede dar de la siguiente manera:

- a. Fibras multimodo de índice escalonado.
- b. Fibras multimodo de índice gradual.
- c. Fibras monomodo.

##### ***a. Fibra multimodo de índice escalonado***

Son aquellas en las que el índice de refracción del núcleo permanece constante en toda su sección, coexisten varios modos de propagación, llegando cada uno de ellos en instantes diferentes al receptor, como se muestra en la figura 1.4 (a), ya que las longitudes recorridas son distintas al permitirlo el diámetro del núcleo. En la interfaz *core-cladding* decrece bruscamente el valor del índice de refracción, el perfil<sup>1</sup> del índice de refracción presenta una sección en escalón con dos secciones rectas, por esta razón se produce un ensanchamiento del pulso original, la dispersión modal<sup>2</sup> será acumulativa con la distancia. No son muy usadas en telecomunicaciones, únicamente para aplicaciones locales y con pequeños anchos de banda.

---

<sup>1</sup> El Perfil del índice de refracción describe la variación del índice de refracción del conductor desde el eje del núcleo hacia la periferia del recubrimiento.

<sup>2</sup> Referirse a la sección 1.1.2.2.



### b. Fibra multimodo de índice gradual

Son aquellas en la que el índice de refracción del núcleo es variable a lo largo del radio del mismo, siendo máximo en el centro y disminuyendo hacia la periferia. En este tipo de perfil de índice las trayectorias de los modos son curvas, debido a la variación continua del índice de refracción, el cual va disminuyendo a medida que se aleja del núcleo y por lo tanto su velocidad de propagación se va incrementando en la misma dirección; de tal forma que se van produciendo enfoques sucesivos de los rayos lumínicos en dirección al eje de la fibra. En la figura 1.4 (b) se muestra una fibra de índice gradual.

### c. Fibra monomodo

En las fibras monomodo se propaga en el núcleo de la fibra únicamente el modo fundamental o de orden inferior, mientras que en las multimodo se propagan varios modos (el modo fundamental y varios modos asociados o de orden superior). Presentan características de ancho de banda superiores a las de las fibras multimodo.

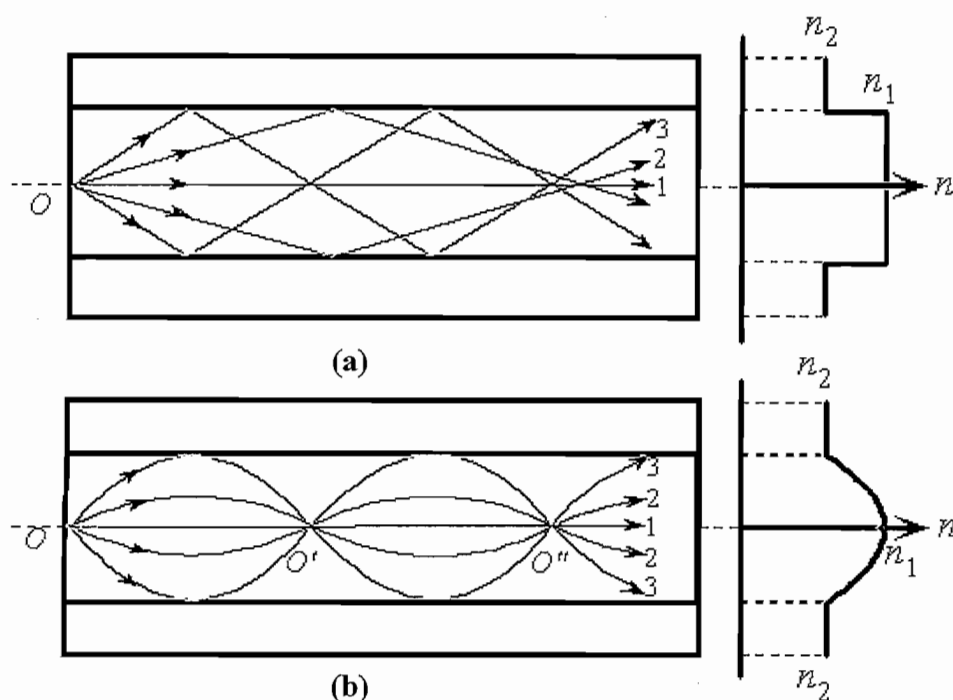


Figura 1.4. (a) Fibra multimodo de índice escalonado (b) Fibra de índice gradual <sup>[4]</sup>

## 1.1.2. PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN

La fibra óptica, como se mencionó anteriormente, es el medio de transmisión que presenta mejores características con respecto a otros medios guiados, sin embargo existen factores intrínsecos de la fibra óptica que determinan los parámetros fundamentales de transmisión de la misma.

### 1.1.2.1. Atenuación en la Fibra Óptica <sup>[2][3]</sup>

Se define la atenuación como la pérdida o disminución de la potencia lumínica en función de la distancia.

Los mecanismos que contribuyen a esta pérdida de energía, pueden ser de carácter intrínseco o de origen externo, en el primer caso dependerán del material de dopado del núcleo y de la longitud de onda. Los de origen externo pueden ser causados por impurezas, defectos en el cableado o por la geometría de la fibra.

La atenuación es el resultado de la contribución unitaria de una serie de factores cuya suma algebraica la determina.

Los factores que intervienen en la atenuación de la fibra óptica son:

- Dispersión de Rayleigh
- Absorción de luz
- Curvaturas en la fibra

#### *a. Dispersión de Rayleigh*

Es el fenómeno físico que se produce cuando el haz de luz choca con impurezas o atraviesa zonas con defectos en la homogeneidad del material del núcleo de la fibra óptica. Esto puede provocar que una parte del haz lumínico cambie su trayectoria o su sentido de propagación pudiendo eventualmente salir del núcleo.

Este valor depende de la pureza de los materiales y del proceso de fabricación empleado.

### ***b. Absorción de luz***

Este fenómeno se produce cuando una fracción de la potencia lumínica que se propaga por la fibra óptica es absorbida por el dióxido de silicio. Los factores que contribuyen para las pérdidas por absorción de la luz son: absorción ultravioleta, infrarroja y debida a impurezas.

### ***c. Curvatura en la fibra***

Cuando la fibra es sometida a curvatura, ya sea por: bobinado, tendido, etc, se origina atenuación por el hecho de que el núcleo y el revestimiento dejan de ser geoméricamente uniformes, la luz se refleja en algunos puntos con ángulos diferentes de los inicialmente calculados, por lo que deja de verificarse en éstos el principio de reflexión total y, en consecuencia, se produce la fuga de modos hacia la cubierta. También se presentan pérdidas por microcurvaturas y éstas se originan en el proceso de fabricación, son irregularidades entre el *core* y el *cladding*, principalmente las fluctuaciones de diámetro (error de elipticidad) y las curvaturas del eje de la fibra (error de concentricidad).

### **1.1.2.2. Dispersión <sup>[3][21]</sup>**

El haz lumínico insertado en la fibra tiende a ensancharse cuando se propaga por el núcleo, ya sea por la velocidad de propagación dependiente de la longitud de onda o por causa de las diferentes estructuras ópticas y geométricas de las fibras, la dispersión define la capacidad máxima de rayos lumínicos que por unidad de longitud se puede transmitir por una fibra. Existen tres tipos de dispersión: dispersión modal, dispersión en el material y dispersión en la guía de onda.

### ***a. Dispersión modal***

Este fenómeno se produce cuando la velocidad de propagación del haz lumínico por el núcleo de la fibra óptica no permanece constante, esto provoca diferencia entre los tiempos de propagación de los rayos lumínicos que toman diferentes trayectorias, existiendo de esta manera, un retardo en la propagación de los mismos.

### ***b. Dispersión en el material***

Este fenómeno se produce por la variación de la longitud de onda de la luz que se propaga en el núcleo de la fibra, también se denomina: *dispersión espectral* o *intramodal*, por referirse a lo que ocurre dentro de cada modo, afecta de igual manera a las fibras multimodo como a las monomodo.

### ***c. Dispersión en la guía de onda***

Esta dispersión se debe a los parámetros ópticos y geométricos de la fibra, en el interfaz *core-cladding* se produce una variación brusca de los índices de refracción originando que se pierda uniformidad en la reflexión del haz lumínico.

La dispersión total se presenta de la siguiente manera según el tipo de fibra: multimodo o monomodo.

La dispersión total para fibras multimodo está dada por<sup>3</sup>:

$$\sigma_{total} = \sqrt{(\sigma_{cromática}^2 + \sigma_{modal}^2)}$$

En las fibras monomodo dado que no hay en ellos dispersión modal o es despreciable, entonces la dispersión total está dada por:

---

<sup>3</sup> La dispersión cromática es la suma de la dispersión del material y de la dispersión de la guía de ondas

$$\sigma_{total} = \sigma_{cromática}$$

### 1.1.2.3. Ancho de Banda <sup>[1][2]</sup>

El ancho de banda es aquella frecuencia a la cual la amplitud (potencia luminosa) comparada con el valor que tiene a frecuencia nula decae óptimamente en un 50%, o sea 3 dB.

El ancho de banda de las fibras ópticas lo determina el fenómeno físico de la dispersión, que en todos sus tipos provoca un ensanchamiento del haz lumínico, convirtiéndole en un pulso mucho más ancho como consecuencia del retardo sufrido durante su propagación.

El ancho de banda en función de la dispersión esta dado por la siguiente expresión matemática:

$$AB = \frac{0.187}{\sigma_{Total}} \quad [GHz.Km] \text{ si la dispersión esta dada en ns/Km}$$

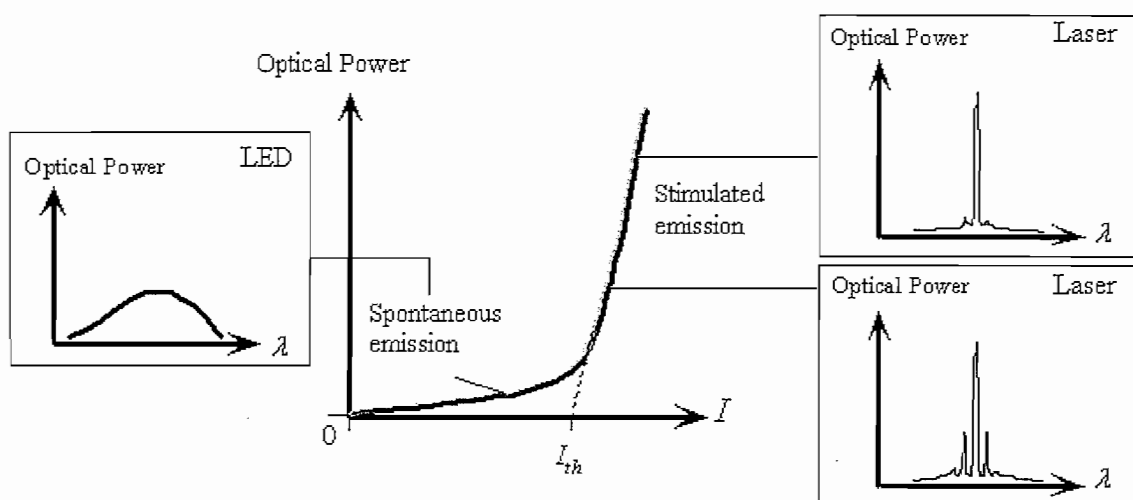
### 1.1.3. EMISORES DE LUZ PARA COMUNICACIONES POR FIBRA ÓPTICA <sup>[4]</sup>

Los emisores de luz convierten la señal eléctrica en señal óptica, el tipo de fuente de luz recomendable para comunicaciones ópticas depende no solamente de la distancia del enlace de comunicación sino también del ancho de banda requerido.

Para aplicaciones de corto alcance, por ejemplo: redes locales, los LEDs son preferidos ya que su manejo es más sencillo, son más económicos y tienen un tiempo de vida más largo con respecto a los láseres. Los LEDs son dispositivos de unión p-n que cuando se polarizan directamente emiten luz. En estos diodos la emisión en la unión p-n es espontánea, de esta manera no es de esperarse que las ondas emitidas estén en fase entre sí, por eso la potencia de salida es notablemente menor que la del láser, su ancho de banda espectral mucho más

amplio y la velocidad de modulación permisible más exigua, limitando un ancho de banda a pocos cientos de MHz por Km.

Los LEDs son generalmente usados con fibras multimodo y de índice escalonado o gradual debido a la dispersión. Para aplicaciones de largo alcance y comunicaciones que requieren gran ancho de banda se usan los diodos láser debido a su espectro de salida más estrecho y gran potencia de salida. En la figura 1.6 se muestran los espectros de salida para un diodo LED y un diodo Láser.



**Figura 1.6. Característica típica potencia óptica vs. corriente y correspondientes espectros de salida de un diodo LED y un diodo Láser <sup>[4]</sup>**

En un LED la emisión es espontánea bajo la acción de un campo eléctrico, tal emisión es totalmente aleatoria. En un láser la emisión es coherente<sup>4</sup>, se somete a la estimulación de corriente en el material semiconductor hasta alcanzar la corriente de umbral ( $I_{th}$ )<sup>5</sup>, a partir de la cual la potencia óptica aumenta drásticamente. Por debajo de esta corriente se comporta como un diodo LED.

A continuación se presentan los emisores más usados en comunicaciones ópticas:

<sup>4</sup> Las ondas se encuentran siempre en fase y separadas por iguales distancias.

<sup>5</sup> Es la corriente eléctrica de inyección a partir de la cual, y para valores superiores, se produce el fenómeno de radiación estimulada.

### 1.1.3.1. Diodos Láser de Banda Estrecha

Idealmente el espectro de salida de un dispositivo láser debería ser tan estrecho como sea posible, es decir, se debe permitir que exista solamente un único modo. Hay varias estructuras de dispositivos que operan con un espectro de salida que tienen alta pureza modal, un método de asegurar un único modo de radiación en la cavidad láser es usar espejos dieléctricos en la superficies agrietadas del semiconductor y reducir en lo posible la longitud de la cavidad.

Desafortunadamente, esto puede producir una baja potencia de salida y una alta corriente de umbral. Una de las mejores maneras de alcanzar un espectro de salida muy estrecho es reemplazar uno o ambos espejos de los extremos de la cavidad por reflectores de frecuencia selectiva.

Hay dos arquitecturas diferentes de diodos láser que son populares hoy en día, basados en esta alternativa, los cuales producen un ancho de banda en el rango de hasta las decenas de MHz.

#### *a. Diodo láser DBR*

Hace uso de uno o dos reflectores externos denominados reflectores de braga distribuidos (*Distributed Bragg Reflectors*) de los cuales se deriva su nombre, el DBR tiene un espejo con una estructura ondulada periódica, el cual permite que las reflexiones parciales de las ondas en las ondulaciones se interfieran constructivamente para dar lugar a una onda reflejada solamente cuando la longitud de onda corresponda a dos veces el periodo de ondulación. Cada una de estas longitudes de onda es conocida como longitud de onda de Bragg ( $\lambda_B$ ). El resultado es que únicamente un modo dentro de la curva de ganancia óptica que está cerca de  $\lambda_B$  pueda existir a la salida. En la figura 1.7 se muestra la estructura de un láser DBR.

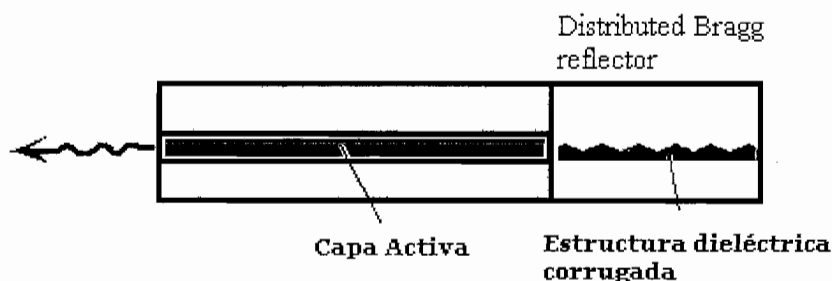


Figura 1.7. Estructura de un láser DBR <sup>[4]</sup>

Una de las características más importantes de un láser DBR es que su longitud de onda puede ser sintonizada electrónicamente sobre un apreciable intervalo de longitudes de onda ( $\sim 10\text{nm}$ ).

### b. Diodo láser DFB

El segundo tipo de láser de banda estrecha usa un reflector selectivo de frecuencia, es denominado láser DFB (*Distributed FeedBack*); como se muestra en la figura 1.8, posee una capa ondulada llamada capa guía, junto a la capa activa. En la capa ondulada (*Bragg Reflector*), se producen varias reflexiones parciales que actúan como realimentación óptica. Esta realimentación es distribuida sobre toda la longitud de la cavidad.

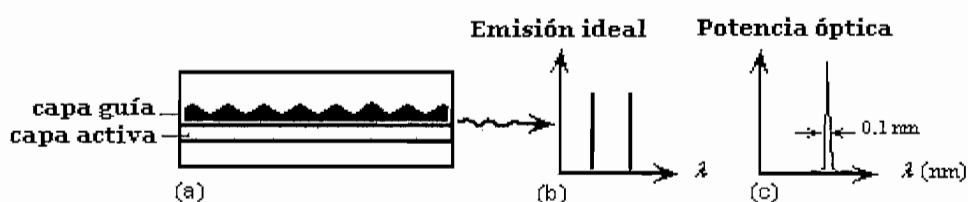


Figura 1.8. (a) Estructura del láser DFB (b) Emisión ideal del láser a la salida  
(c) Espectro de salida típico de un láser DFB <sup>[4]</sup>

La radiación es alimentada desde la capa guía hasta la capa activa a lo largo de toda la cavidad, por lo que el medio ondulado se convierte en un almacenador de ganancia óptica. El uso primario de los láseres DFB ha sido como de banda muy estrecha y de fuente de frecuencia estable. Sin embargo, estos láseres también



pueden ser sintonizados mediante la variación de su temperatura a través del cambio de su corriente inyectada ( $0.1 \text{ nm} / ^\circ\text{C}$ ).

Los láseres DFB se pueden modular directamente (la señal eléctrica se aplica a la corriente del láser, creando una onda óptica de amplitud modulada) hasta 2.5 Gbps para una transmisión a 200 Km, y a 10Gbps para una transmisión a corta distancia (10 Km) <sup>[13]</sup>. En distancias más largas, la dispersión cromática limita el ancho de banda, por lo que es necesario un modulador externo (el espectro del láser es muy pequeño y estable). Se pueden alcanzar distancias de miles de kilómetros con velocidades tan altas como 10 Gbps, o de cientos de kilómetros a 40 Gbps <sup>[13]</sup>.

Hay varios láseres DFB monomodo disponibles comercialmente con anchuras espectrales de alrededor de 0.1 nm a longitud de onda de 1.55  $\mu\text{m}$ .

### 1.1.3.2. Láseres Ópticos Amplificadores

La estructura de un láser semiconductor puede ser usada como un amplificador óptico que amplifica las ondas de luz que atraviesan su región activa. La longitud de onda de radiación para ser amplificada debe caer dentro del ancho de banda de ganancia óptica del láser.

Dentro de este tipo de láser se destaca el amplificador láser *Fabry - Perot*. El amplificador láser *Fabry-Perot* es similar a un láser convencional, pero éste opera por debajo de la corriente de umbral. La señal óptica que pasa a través de la región activa es amplificada mediante emisiones estimuladas, pero debido a la presencia de un resonador óptico hay múltiples reflexiones internas. Estas reflexiones múltiples permiten que la ganancia sea la más alta a las frecuencias de resonancia de la cavidad dentro del ancho de banda de ganancia óptica. Las frecuencias ópticas en torno a las frecuencias de la cavidad resonante experimentan una ganancia más alta que aquellas alejadas de las frecuencias de resonancia.

### 1.1.3.3. Diodo Láser VCSEL

Los láseres semiconductores VCSEL emiten haces de luz en forma perpendicular a su juntura a diferencia de los láseres convencionales que emiten por borde. La longitud de la región activa es muy corta comparada con las dimensiones laterales, de modo que la radiación se emite desde la superficie de la cavidad en vez de hacerlo desde su borde. Los reflectores a los extremos de la cavidad son espejos dieléctricos, hechos de alternados índices de refracción, altos y bajos, estos espejos dieléctricos son esencialmente DBRs. La capa activa es generalmente muy delgada ( $< 0.1 \mu\text{m}$ ), la cavidad vertical es de sección circular, por ende el haz de luz emitido toma esta forma. La altura de la cavidad vertical puede llegar a ser muy pequeña (algunos micrones). En la práctica hay un solo modo a la salida del espectro para cavidades de diámetros menores a  $8\mu\text{m}$ . En la figura 1.9 se muestra la estructura de un diodo láser VCSEL.

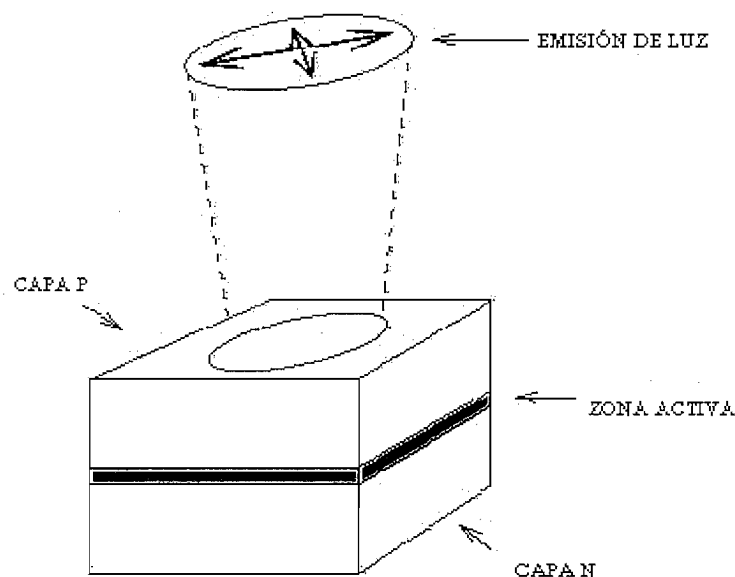


Figura 1.9. Diodo láser VCSEL <sup>[23]</sup>

Varios VCSEL en el mercado tienen algunos modos, pero la anchura espectral está alrededor de  $0.5 \text{ nm}$ , bastante menores que un diodo láser multimodo convencional. Las potencias de salida monomodo con las que trabaja van de  $0.3$

a 0.5 mW, y 5 mW para multimodo, su rango de longitudes de onda va desde 760 nm hasta 960 nm.

Dentro de las ventajas ofrecidas por este láser están su pequeño tamaño, estabilidad, capacidad de modulación a alta velocidad, no es sensible a interferencias y ofrece un costo menor en relación a otras fuentes láser tradicionales. Debido a que las dimensiones de la cavidad están en el orden de los micrones, los VCSEL son conocidos como microláseres.

Una de las ventajas más significativas de los microláseres es que pueden ser dispuestos para construir un emisor matriz. Tales arreglos láser tienen potencial importancia en aplicaciones dentro de la interconexión o interconectividad óptica y las tecnologías ópticas de computación. Además tales láseres pueden proveer una alta potencia óptica que alcanzan hasta unos pocos watts.

El desarrollo de láseres de bajo costo es un factor clave para la implementación de la fibra óptica en la red de acceso. Estos láseres deberían operar sobre un amplio rango de temperaturas (desde  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) sin necesidad de mecanismos de enfriamiento termoeléctrico.

Los componentes electrónicos de alta velocidad para 10 Gbps y velocidades superiores se están desarrollando en material GaAs o SiGe y se integran en una plataforma híbrida con dispositivos ópticos InP.

#### **1.1.4. DETECTORES ÓPTICOS**

Los detectores convierten la señal óptica procedente de la fibra en una señal eléctrica para luego ser llevada a un equipo terminal o para ser incorporada a la siguiente etapa de un repetidor óptico.

El propósito del receptor en los sistemas de telecomunicaciones por fibras ópticas, es extraer la información contenida en una portadora óptica que incide en el fotodetector. Los detectores ópticos generan una pequeña señal eléctrica al ser

iluminados. De esta manera, se transforma la energía luminosa en energía eléctrica.

En los sistemas de telecomunicaciones por fibras ópticas, el fotodetector es un elemento esencial; su importancia impone que satisfaga requerimientos en su funcionamiento. Las principales características que deben tener son:

- Sensibilidad<sup>6</sup> alta a la longitud de onda de operación
- Contribución mínima al ruido total del receptor
- Ancho de banda grande (respuesta grande)
- Características estables respecto al medio ambiente
- Dimensiones físicas compatibles con la fibra.

En cuanto al tiempo de respuesta, todos los detectores tienen una inercia en su reacción a la luz incidente. Esta es una medida de cuanto tiempo requiere un detector para responder a un cambio en el flujo luminoso que incide sobre él. Los tiempos de respuesta suelen medirse con respecto a un pulso de entrada cuadrado y a menudo se expresan en tiempos de levantamiento (*rise time*) y caída (*fall time*). Estos tiempos afectan directamente el ancho de banda del receptor.

*Tiempo de levantamiento:* Es el tiempo requerido para que la señal cambie de estado y se eleve desde un nivel bajo a un valor pico. Típicamente especificado como el tiempo para que la señal se eleve desde 10% - 90% del valor de su estado final.

*Tiempo de caída:* Especificado como el tiempo requerido para que la señal baje desde el 90% hasta el 10% de su amplitud original, negativa o positiva.

Generalmente los fotodiodos son los detectores con tiempos de respuesta menores en el orden de los nanosegundos, mientras que los fototransistores en el orden de los microsegundos.

---

<sup>6</sup> La sensibilidad es el nivel mínimo de señal el cual puede ser detectado para un nivel mínimo de calidad

Existen varios tipos de detectores como: los fotodiodos, fototransistores, fotodarlintongs.

- **Fotodiodos**

Los fotodiodos son diodos de juntura PN cuyas características eléctricas dependen de la cantidad de luz que incide sobre la unión. Generalmente presentan una respuesta muy rápida en el tiempo.

Cuando la luz no incide sobre el dispositivo sólo una pequeña cantidad de corriente fluye (corriente de oscuridad). Cuando la luz incide, se generan portadores y fluye una mayor corriente eléctrica. Un fotodiodo típico trabaja en la región del infrarrojo cercano. Son dispositivos de alta impedancia y operan a bajas corrientes (corriente de oscuridad de  $10\ \mu\text{A}$  y hasta  $100\ \mu\text{A}$  con iluminación).

Los fotodiodos son diseñados para convertir la energía luminosa en energía eléctrica. Son usados en una amplia variedad para aplicaciones de detección. Los fotodiodos son caracterizados por su Responsividad, este parámetro está relacionado con el tipo de material del fotodetector y el proceso de fabricación del diodo

- **Fotodiodos APD**

Cuando a un fotodetector se le aumenta el voltaje de polarización, llega un momento que la corriente crece incontrolablemente, por el fenómeno de avalancha, hasta la destrucción del dispositivo. La región a partir de la cual la corriente aumenta se llama avalancha. Si en esta región el fenómeno de avalancha se controla, la sensibilidad del fotodetector se incrementa notablemente. Para esto es fundamental que no se rebase la capacidad de disipación del dispositivo, por lo que es importante limitar la corriente para un determinado voltaje de polarización.

Dado que el mecanismo de avalancha está sujeto a fluctuaciones estadísticas, se tiene un factor de ruido que aumenta con la ganancia, por tal motivo, aunque existan dispositivos con ganancias hasta de 1000, las ganancias que

comúnmente se utilizan en los sistemas de telecomunicaciones por fibras ópticas están entre 10 y 100.

En conclusión estos detectores no necesitan amplificación después de la detección, pero son más ruidosos, más sensibles a la temperatura y más caros.

- **Fototransistores**

Estos dispositivos presentan mayor corriente que los fotodiodos, para niveles comparables de iluminación. Sin embargo, no operan tan rápido como un fotodiodo (aproximadamente 10 kHz es el límite superior), y presentan altas corrientes de oscuridad. El fototransistor es básicamente un transistor con la corriente de base generada por la iluminación de la unión base-colector. La operación normal del transistor amplifica la pequeña corriente de base.

- **Fotodarlington**

Son detectores conformados por un fototransistor cuyo emisor alimenta a la base de un segundo transistor para amplificación. Al tener otro transistor se incrementa la sensibilidad, pero disminuye la velocidad y se incrementa el ruido.

## 1.1.5. MODULACIÓN Y MULTIPLEXACIÓN <sup>[3][7]</sup>

### 1.1.5.1. Modulación

La información puede ser transmitida a lo largo de una fibra óptica de diferentes maneras. La más simple involucra el cambio continuo de la magnitud de la luz con el tiempo, ésta es conocida como modulación analógica. En la modulación digital un tren continuo de pulsos lleva información a través de la presencia o ausencia de los pulsos en secuencia. La modulación espectral se basa en codificar la información de acuerdo a variaciones de la longitud de onda de la luz. Esta generalmente implica cambiar la longitud de onda de una señal de ancho espectral muy estrecho en armonía con la información. Si la señal de luz es modulada a una frecuencia dada (usualmente en el rango de los Kilohertz a los

Gigahertz), es conocida como modulación por frecuencia. Finalmente la orientación angular (respecto al eje de la fibra) del plano del campo eléctrico que constituye la onda de luz puede ser variada para transportar la información, y ésta es llamada modulación por polarización.

La configuración más usual para los transmisores de sistemas ópticos es la que utiliza la modulación directa de la onda del láser, pudiendo ser la señal moduladora analógica o digital.

#### *a. Modulación analógica*

La señal analógica modula a la portadora óptica en intensidad (IM), haciendo variar la amplitud de la corriente que circula por la fuente en torno al nivel de polarización escogido. La señal de información puede transmitirse:

- Modulándola directamente en banda base.
- Incorporada en una subportadora eléctrica modulada en amplitud.
- Incorporada en una subportadora eléctrica modulada en frecuencia o fase.
- Modulando un tren de pulsos, que actuará como subportador, en amplitud, duración, posición, etc, y modulará el haz luminoso.

Las características no lineales de las fuentes ópticas afectan a la calidad de transmisión, particularmente con diodos LED y empleando modulaciones en banda base y en amplitud, lo que obliga a operar con índices de modulación bajos y en consecuencia, a obtener poca potencia de la señal. Ello repercutirá directamente en una limitación de la longitud de la sección de regeneración y en el empeoramiento de la relación señal a ruido. Los resultados obtenidos con fuentes láser mejoran las deficiencias mencionadas anteriormente, pero requieren dispositivos especiales.

El empleo de las soluciones (FM o PM) aporta ciertas ventajas, como es la menor influencia de la falta de linealidad de la fuente (mejor señal a ruido) y el consiguiente aumento de potencia, todo ello a cambio del empleo de un mayor

ancho de banda. Particularmente, el comportamiento del sistema cuando se emplea un tren de pulsos para modular el haz de luz es muy similar al de las señales digitales, que permiten la transmisión de una potencia mayor al dejar de ser importantes las exigencias de linealidad para transmitir pulsos.

### ***b. Modulación digital***

La modulación digital aporta una gran inmunidad al ruido, aunque a costa de un mayor ancho de banda, lo que determina su empleo preferentemente en las transmisiones ópticas. Además, como se ha dicho antes, los sistemas digitales permiten el empleo de una mayor potencia de emisión. En particular, las señales MIC<sup>7</sup> (*Modulación de Impulsos Codificados*) se muestran especialmente indicadas para la transmisión por sistemas ópticos.

Además se pueden distinguir 2 tipos de modulación digital empleados: ASK (*Amplitude Shift Keying*) o modulación OOK (*On – Off Keying*) en la cual la señal se encuentra modulada en amplitud y FSK (*Frequency Shift Keying*) en la cual la señal esta modulada en frecuencia, en estos casos la señal moduladora es digital,

En la modulación OOK la señal actúa como un *switch* en el cual “on” indica presencia de señal y “off” indica ausencia de señal.

---

<sup>7</sup> MIC.- Procedimiento de modulación que convierte una oscilación analógica en una señal digital. La señal analógica se muestrea y las muestras así obtenidas se cuantifican y codifican.



### 1.1.5.2. Multiplexación WDM

WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) es una tecnología que permite que varios canales envíen información a diferentes longitudes de onda y puedan ser transportadas por un único medio, utilizando para este propósito la fibra óptica.

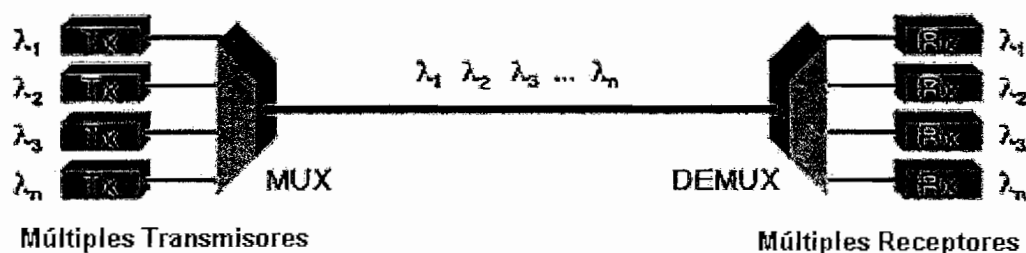


Figura 1.10. Multiplexación por división de longitud de onda <sup>[24]</sup>

El uso de amplificadores ópticos en las redes WDM, tales como los amplificadores de fibra dopada con erbio EDFA (*Erbium-Doped Fiber Amplifier*), han hecho posible obtener una mayor ganancia, ya que éstos se encuentran optimizados para trabajar en la tercera ventana (1550 nm) y presentan un ancho de banda de unos 30 a 40 nm. Los amplificadores ópticos operan de manera eficaz en una determinada zona del espectro de frecuencia, de acuerdo con el tipo de fibra utilizada en el sistema. Las prestaciones de los amplificadores ópticos construidos actualmente han mejorado considerablemente, con niveles de ruido mucho menores y ganancia más plana, características esenciales en los sistemas DWDM (*Dense WDM*).

El estándar de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) define una cuadrícula de longitudes de onda permitidas dentro de la ventana que va desde los 1525 nm hasta los 1565 nm, como se muestra en la figura 1.11. Así, el espaciado entre dos de estas longitudes de onda permitidas puede ser de 200 GHz (1.6 nm), 100 GHz (0.8 nm), o incluso menos. La técnica WDM se considera "densa" (DWDM) cuando éste espaciado es de 100 GHz o inferior.

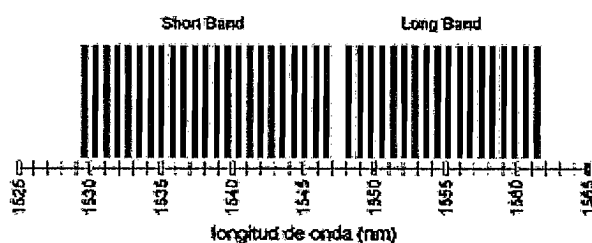


Figura 1.11. Rejilla estándar de la ITU-T <sup>[25]</sup>

El transmisor óptico es un elemento clave en este tipo de sistemas, ya que debe proporcionar longitudes de onda muy precisas debido a la proximidad de los canales. Además del ajuste en la longitud de onda de operación, los láseres empleados en los sistemas DWDM necesitan garantizar la estabilidad de la longitud de onda durante el tiempo de vida del dispositivo. Por ello, los fabricantes de láseres efectúan pruebas de control a diferentes temperaturas y corrientes de funcionamiento. Los tipos de láser utilizados pueden verse en la sección 1.1.3.

### 1.1.6. REDES DE FIBRA ÓPTICA

El uso de la fibra óptica en el sector de las telecomunicaciones está plenamente consolidado, por sus características en la transmisión de señales y desarrollo de tecnologías que han hecho de los sistemas de fibra óptica la mejor opción para el transporte de la información.

En la actualidad las redes de fibra óptica se encuentran presentes en varios sistemas de telecomunicaciones, son usados en redes de computadoras, redes LAN y MAN, en enlaces dedicados para usuarios corporativos (p.e, enlace de datos entre una agencia y sus sucursales), en áreas urbanas con la implementación de anillos de fibra que unen diferentes centrales para cursar el tráfico entre ellas, estos enlaces son puramente de tránsito, es decir, cursan el tráfico hacia y desde otras áreas urbanas.

Las redes de fibra óptica son utilizadas también en los enlaces transoceánicos mediante el tendido de cables submarinos, para este tipo de enlaces también son

usados los satélites, el uso de determinada tecnología de enlace dependerá de la disposición, costos, requerimientos y demás parámetros a ser tomados en cuenta.

En redes de acceso se usa la fibra óptica con la tecnología FTTx (*Fiber-To-The*, Fibra hasta), el acceso con fibra óptica al usuario resulta no conveniente por su elevado costo, sin embargo, con la aplicación de nuevas tecnologías, tal es el caso de PON (*Passive Optical Network*), que brinda a un costo efectivo más ancho de banda, rápido aprovisionamiento de servicios y garantías de QoS (APON) de manera eficiente, la implementación de fibra óptica en redes de acceso es posible.

#### 1.1.6.1. Topologías de red de Fibra Óptica <sup>[6]</sup>

Las topologías de red se pueden clasificar como topologías lógicas o físicas. Una topología lógica describe el método por el cual se comunican unos con otros los nodos de la red, mientras que la topología física es el trazado real físico del cableado y de los nodos de la red.

Las topologías Lógicas usadas son: punto a punto, en estrella, tipo bus o enlace común y en anillo. A continuación se describen cada una de las topologías lógicas.

1. **Lógica punto a punto.** Esta topología enlaza directamente dos dispositivos entre sí.
2. **Lógica en estrella.** Una topología en estrella es una combinación de enlaces punto a punto que tienen todos un nodo común.
3. **Lógica en enlace común.** En este tipo de topología todos los dispositivos se conectan a un bus común de transmisión.
4. **Lógica en anillo.** En esta topología todos los nodos están conectados a un anillo.

La topología física es dependiente del medio y puede ser implementada con la misma topología lógica, por ejemplo, una topología lógica en anillo puede ser

cableada de forma que parezca un anillo; sin embargo, una topología lógica puede conectarse en una topología física diferente. La topología de red más usada es la topología física en estrella, tiene ventajas más significativas sobre las otras topologías físicas, tales como:

- Flexibilidad y capacidad para soportar varias aplicaciones y todas las demás topologías lógicas.
- Fácil mantenimiento y administración.
- Expansión más sencilla del sistema.
- Recomendado en el estándar EIA 568 para cableado de edificios comerciales.

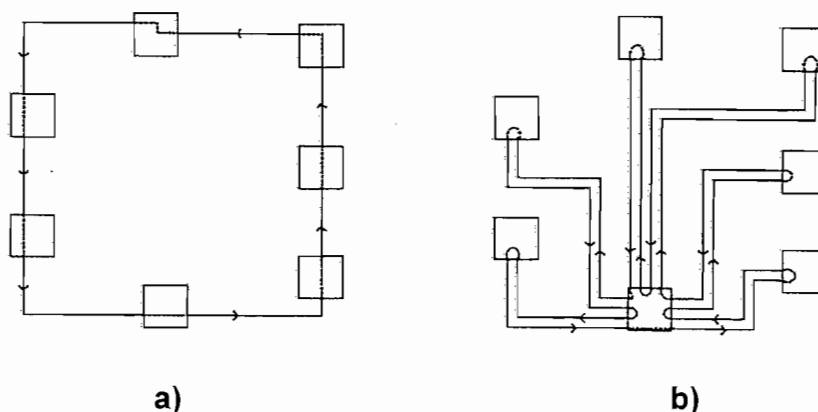


Figura 1.12. a) Anillo lógico y anillo físico b) Anillo lógico y estrella física <sup>[6]</sup>

## 1.2. TECNOLOGÍA ATM <sup>[8][11][22][27]</sup>

### 1.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA TECNOLOGÍA ATM

EL modo de transferencia asincrónica ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), es una tecnología de red orientada a conexión, basada en la conmutación de paquetes y es empleada en redes públicas o privadas LAN y WAN. Permite el transporte a alta velocidad de múltiples tipos de tráfico, tales como: voz, video y datos, garantizando en cada aplicación la calidad de servicio que se necesita, de una forma flexible y eficiente.

La red ATM está conformada de uno o más conmutadores (también llamados crossconectores) de alta velocidad a los cuales se conectan *host*, ruteadores y otros conmutadores ATM. La función principal de los crossconectores es direccionar las celdas<sup>8</sup> al destino sin pérdidas y a la mayor velocidad posible.

La tecnología ATM consiste en transmitir toda la información en paquetes de tamaño fijo denominados celdas. La conmutación de celdas es altamente flexible y puede manejar tráfico de velocidad constante o variable, la velocidad contemplada está en el orden de los gigabits por segundo. Permite la integración de servicios y la administración eficiente del ancho de banda.

ATM al ser asincrónica, asigna los *slots* de tiempo bajo demanda. Esto permite a una estación transmitir celdas cuando sea necesario hacerlo. Cada celda posee información de identificación en su cabecera que permite identificar la fuente de la cual proviene.

#### **1.2.1.1. Tipos de interfaces**

Existen dos tipos de interfaces en las redes ATM: UNI (*User to Network Interface*), interfaz usuario-red y NNI (*Network to Network Interface*), interfaz red-red.

- UNI: La interfaz UNI se ubica entre el equipo del usuario y el conmutador ATM, o entre conmutadores de una red privada y una red pública.
- NNI: La interfaz NNI se ubica entre conmutadores ATM de una misma red ATM pública o privada.

#### **1.2.1.2. Formato de celdas ATM**

Una celda ATM es un paquete de 53 bytes de longitud, de los cuales 5 bytes son cabecera y los 48 bytes restantes constituyen la carga útil o *payload*, el cual lleva información del usuario: voz, datos o video.

---

<sup>8</sup> Referirse a la sección 1.2.1.2.

El formato de la cabecera de 5 bytes de una celda ATM depende del tipo de interfaz: UNI o NNI. El formato de la celda se presenta en la figura 1.13.

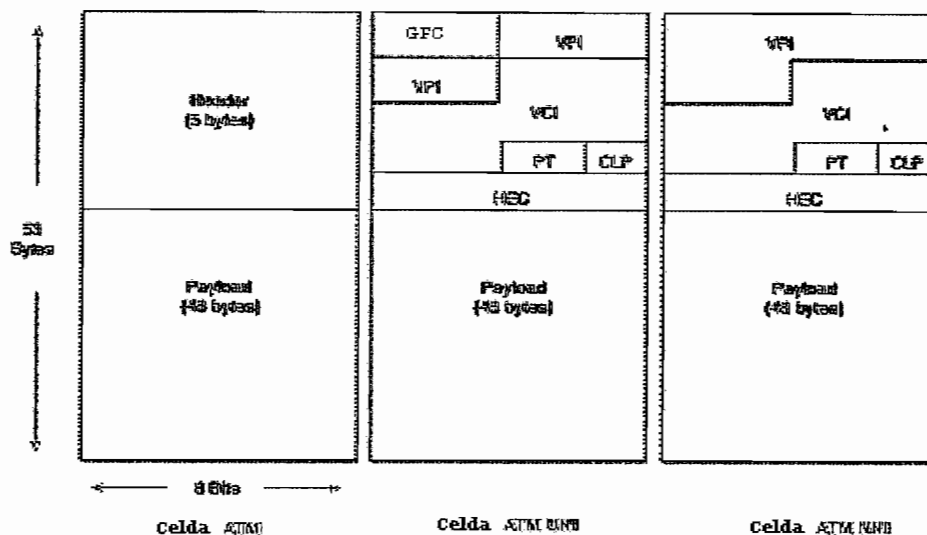


Figura 1.13. Formato de la celda ATM <sup>[27]</sup>

El significado de los campos en las cabeceras es el siguiente:

- **GFC (*Generic Flow Control*)**: Brinda control de flujo o prioridad entre *hosts* y redes. No hay valores definidos en este campo.
- **VPI**: Selecciona una trayectoria virtual en particular.
- **VCI**: Selecciona un circuito en particular en la trayectoria virtual seleccionada.
- **PT (*Payload Type*)**: Define el tipo de carga útil que tiene la celda.
- **CLP (*Congestion Loss Priority*)**: Distingue tráfico de alta prioridad de el de baja prioridad.
- **HEC (*Header Error Control*)**: Contiene una suma de verificación de error (*checksum*) únicamente sobre los campos de la cabecera.

El campo GFC no está en la cabecera NNI y por tanto el campo VPI ocupa 12 bits. Ésta es la única diferencia entre las dos cabeceras:

## 1.2.2. MODELO DE REFERENCIA ATM

ATM posee su propio modelo de referencia, diferente al modelo OSI o al modelo TCP/IP. A continuación se muestra en la figura 1.14 el modelo de referencia ATM y su comparación con el modelo OSI.

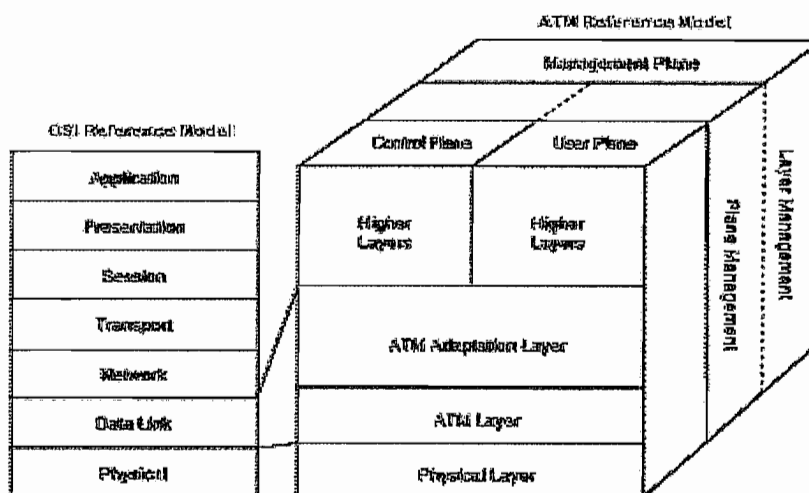


Figura 1.14. Modelo de referencia ATM <sup>[27]</sup>

### 1.2.2.1. Capa Física

Es análoga a la capa física del modelo OSI, tiene que ver con el medio físico, voltajes, temporización de bits y demás aspectos. La capa física administra la transmisión de bits dependiendo del medio.

Subcapas de la capa física:

#### a. Subcapa PMD

La subcapa PMD (*Physical Medium Dependent*) realiza la interfaz con el medio de transmisión, enviando y recibiendo los bits. Esta subcapa es diferente para distintos portadores y medios de transmisión.

### ***b. Subcapa TC***

La subcapa TC (*Transmission Convergence*) en el extremo de transmisión se encarga de enviar las celdas como un flujo de bits a la subcapa PMD para su envío por el medio de transmisión. En el extremo de recepción la subcapa TC recibe el flujo de bits de la subcapa PMD y convierte el flujo de bits en un flujo de celdas, identificando inicio y término de cada celda.

### **1.2.2.2. Capa ATM**

Esta capa es responsable de establecer la conexión y transportar las celdas a través de la red ATM. La capa ATM junto a la capa de adaptación ATM son análogas a la capa enlace del modelo de referencia OSI.

### **1.2.2.3. Capa de adaptación ATM (AAL)**

La capa AAL (*ATM Adaptation Layer*) se encarga de adaptar los servicios dados por la capa ATM a aquellos servicios que son requeridos por las capas más altas. La AAL recibe los datos de las capas superiores y los divide en celdas.

Subcapas de la capa de adaptación:

#### ***a. Capa de convergencia***

La capa de convergencia CS (*Convergence Sublayer*) hace posible tener sistemas ATM que ofrezcan diferentes clases de servicio a diferentes aplicaciones.

#### ***b. Capa de Segmentación y reensamblaje***

La capa de segmentación y reensamblaje SAR (*Segmentation and Reassembly*) recibe los datos de la capa de convergencia y los divide en trozos formando los paquetes de ATM. Agrega la cabecera que llevará la información necesaria para el reensamblaje en el destino.

Se describen 4 tipos de capas de adaptación dependiendo del tráfico existente.



- AAL 1
- AAL 2
- AAL 3/4 (combinación de la capa 3 y de la capa 4)
- AAL 5

#### *a. AAL1*

Transfiere tasas de bits constantes que dependen del tiempo. Es utilizada para transmitir tráfico de voz. No realiza control de errores.

#### *b. AAL 2*

Transfiere datos con tasa de bits variable que dependen del tiempo. Hace detección de errores. Se usa para la transmisión de video comprimido.

#### *c. AAL 3/4*

La capa 3 transmite datos para servicios orientados a conexión (SOC), en tanto que la capa 4 transmite datos para servicio no orientados a conexión (SNOC). AAL 3/4 se diseña para transferir los datos con tasa de bits variable que son independientes del tiempo. Incluye información que permite determinar la longitud del mensaje. Emplea control de errores.

#### *d. ALL 5*

Empleado para transmitir datos con tasa de bits variable. No requiere sincronización, es útil para SNOC y SOC, se adapta bien para redes LAN.

### **1.2.2.4. Funciones de capa superior**

El modelo de referencia ATM está compuesto por los siguientes planos de capa superior:

*a. Plano de Control:* Se encarga de las funciones de señalización en redes ATM, las cuales son necesarias para establecer, supervisar y liberar conexiones.

*b. Plano de Usuario:* Se encarga del transporte de datos, control de flujo, corrección de errores entre otras funciones.

*c. Plano de Administración:* Realiza la administración tanto a nivel de planos como de capas.

### 1.2.3. CONEXIONES LÓGICAS

ATM es una tecnología orientada a conexión, es decir, antes de iniciar la transmisión de datos se establece la ruta o circuito virtual. Para establecer los circuitos virtuales se manejan las conexiones lógicas. Cada circuito virtual está compuesto de un canal virtual (VC) identificado mediante un VCI (identificador de circuito virtual) y de un trayecto virtual (VP) identificado por un VPI (identificador de camino virtual), como se indica en la figura 1.15.

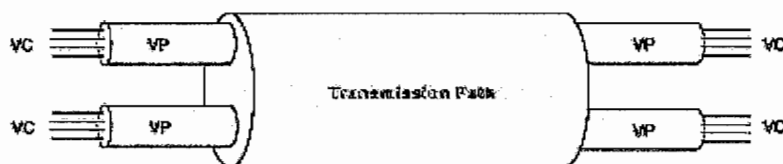


Figura 1.15. Relación entre trayecto virtual, canal virtual y el medio de transmisión <sup>[27]</sup>

*a. Canal virtual VC (Virtual Channel):* Término utilizado para describir el transporte unidireccional de celdas. Todas las celdas asociadas a un canal virtual tienen asignado un valor de identificador común y único. Este identificador se denomina VCI (*Virtual Channel Identifier*) y es parte de la cabecera de la celda, se utilizan 8 bits para identificar los trayectos, se puede tener hasta 256 identificadores distintos.

*b. Camino virtual VP (Virtual Path):* Término utilizado para describir el transporte unidireccional de celdas pertenecientes a distintos canales virtuales que están agrupados mediante un valor de identificador común y único denominado VPI (*Virtual Path Identifier*) y es parte de la cabecera de la celda.

*c. Conexión de canal virtual VCC (Virtual Channel Connection):* Es la concatenación de enlaces de canales virtuales.

*d. Conexión de camino virtual VPC (Virtual Path Connection):* Es la concatenación de enlaces de rutas virtuales.

Los valores de VCI y VPI en general solo tienen significado para un enlace o salto. En un VCC/VPC el valor de VCI/VPI será traducido en cada entidad de conmutación. Esto implica que el origen y destino pueden enviar y recibir la misma celda en distintos VPI/VCI.

*e. Circuitos virtuales:* Un circuito virtual es la conexión lógica entre dos extremos de una red a través de la conmutación de celdas que ofrece un servicio orientado a conexión.

*e.1. Circuito virtual permanente (PVC):* Son rutas establecidas de forma permanente al momento de ser configurado el circuito, requiere configuración manual.

*e.2. Circuito virtual conmutado (SVC):* La ruta es establecida en forma dinámica, cuando sea requerida la conexión.

#### 1.2.4. CALIDAD DE SERVICIO <sup>[12]</sup>

La Calidad de Servicio describe la eficacia con que un servicio es ofrecido al usuario. El usuario puede ser una persona o una capa de protocolo, puede ser utilizado para referirse a las cualidades del funcionamiento de una red, tiene que ver con la pérdida y retardo de celdas.

La QoS puede ser definida como la evaluación subjetiva de lo percibido por el usuario sobre la capa aplicación. Por ejemplo, una difusión de video con un bajo porcentaje de errores podría presentar una aceptable calidad de servicio para el que lo mira; sin embargo, los datos transmitidos a un computador con un pequeño porcentaje de errores podría no ser aceptable. Por consiguiente, la persona más interesada acerca del rendimiento de todo el sistema es también la persona que

paga por el servicio. Si el usuario percibió que no encuentra calidad de servicio, éste buscará a quien le ofrezca el mejor servicio.

Un mecanismo de Calidad de Servicio es capaz de garantizar el rendimiento de la red para todos los servicios. Existen varios parámetros de rendimiento para evaluar la calidad de servicio en una red como son: la velocidad, la eficacia y la seguridad en lo referente al acceso, la transferencia de la información y la desconexión.

#### 1.2.4.1. Clases de Calidad de Servicio

El Fórum ATM (ATMF) especifica cuatro clases de Calidad de Servicio que tienen correspondencia con las clases de servicio AAL y adicionalmente una llamada “no especificada” tal como se muestra en la tabla 1.1:

Clase de QoS (ATMF)	Naturaleza de la Aplicación
Clase 1	Rendimiento demandado comparable con el rendimiento de la actual línea privada digital.
Clase 2	Audio y video comprimidos en teleconferencia y aplicaciones multimedia.
Clase 3	Interoperación de protocolos orientados a conexión tales como Frame Relay.
Clase 4	Interoperación de protocolos, tales como IP o SMDS.
No especificada	El soporte de los servicios de “mejor esfuerzo”

**Tabla 1.1. Clases de QoS asignadas a aplicaciones, tal como recomienda el ATMF <sup>[12]</sup>**

Junto con la clase de QoS no especificada, la definición de estas clases está ligada al establecimiento de objetivos respecto a los parámetros de rendimiento de la red. La Calidad de Servicio está definida en términos de las aplicaciones que ellas comprenden.

Una clase de QoS, refleja la calidad de servicio en el nivel ATM. Los objetivos de un conjunto de parámetros específicos de rendimiento en la red determinan la precisión del servicio ofrecido desde la capa ATM a la AAL. La definición de esas clases de QoS es, sin embargo, hecha en total independencia del tipo de “*bit rate*” producido mediante la implementación combinada aplicación-AAL en lo alto de la capa ATM. No obstante, la ITU-T recomienda que las clases de QoS sean escogidas de acuerdo a la naturaleza de este *bit rate*. Estas recomendaciones se muestran en la tabla 1.2:

<b>Clases de QoS (ITU-T)</b>	<b>Tipo de <i>Bit Rate</i></b>
Clase 1 clase severa	DBR <sup>9</sup>
Clase 2 clase tolerante	SBR <sup>10</sup> , ABR, ABT <sup>11</sup>
Clase 3 clase bi nivel	SBR, ABR
Clase no especificada	UBR o cualquier otra naturaleza de <i>bit rate</i>

**Tabla 1.2. Clases de QoS tal como recomienda la ITU-T** <sup>[12]</sup>

#### 1.2.4.2. Clases de servicio

Las clases de servicio que ofrece ATM se clasifican de la siguiente manera:

##### *a. Servicios en tiempo real*

- CBR (*Constant Bit Rate*): Para aplicaciones con velocidad constante de transmisión. Su aplicación más común es el servicio de emulación de circuitos de voz, video y datos en tiempo real.
- RT - VBR (*Real Time - Variable Bit Rate*): Sensible al retardo, se usa para aplicación de tráfico de voz y video comprimido, tráfico de datos con sensibilidad al retardo.

<sup>9</sup> DBR (*Deterministic Bit Rate*), su correspondiente establecido por el ATMF es el CBR (*Constant Bit Rate*).

<sup>10</sup> SBR (*Statistical Bit Rate*), su correspondiente establecido por el ATMF es el NRT-VBR (*Non-Real-Time Variable Bit Rate*).

<sup>11</sup> ABT (*ATM Block Transfer*), no tiene correspondiente establecido por el ATMF.

### ***b. Servicios en tiempo no real***

- NRT - VBR (*Non Real Time - Variable Bit Rate*): Utilizado en aplicaciones de tráfico no sensibles al retardo. Se usa en aplicaciones de envío de correo electrónico, multimedia, transacciones bancarias, etc.
- UBR (*Unspecific Bit Rate*): No especifica velocidad de transmisión, tráfico de datos de baja prioridad, puede tolerar retardos variables y algunas celdas perdidas, es muy usado en el envío de tráfico TCP/IP.
- ABR (*Available Bit Rate*): En este servicio, el usuario puede transmitir datos cuando hay capacidad disponible.

## **1.3. JERARQUÍA DIGITAL SINCRÓNICA (SDH) <sup>[22][28]</sup>**

### **1.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA TECNOLOGÍA SDH**

SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) comprende un conjunto de recomendaciones de la ITU -T para una red de transporte sincrónica, se encarga del transporte y gestión de gran cantidad de tipos de tráfico diferentes sobre la infraestructura física. Multiplexa diferentes señales digitales dentro de una jerarquía común flexible y gestiona su transmisión de forma eficiente a través del medio de transmisión con mecanismos internos de protección. Permite la interconexión de redes de diferentes portadoras y pueden ser transportados protocolos como ATM, *Frame Relay*, etc, utilizados en redes de banda ancha.

Un sistema SDH está compuesto por conmutadores, multiplexores y regeneradores conectados todos por fibra en un anillo dual<sup>12</sup>, es utilizado como *backbone* de la red y en redes de acceso. La topología en anillo de la fibra óptica

---

<sup>12</sup> La red tiene dos anillos en los cuales el tráfico en cada anillo viaja en direcciones opuestas, el anillo principal es usado para transmitir datos mientras que el anillo secundario es usado generalmente como respaldo.

permite la protección de la información, si un enlace se perdiera, hay un camino de tráfico alternativo por el otro lado del anillo.

### 1.3.2. ESTRUCTURA DE LA TRAMA SDH

La estructura básica de SDH está conformada por la trama STM-1 donde STM significa Módulo de Transporte Síncrono, cuya velocidad de transmisión es de 155.52 Mbps. Mayores tasas de transmisión (STM-n) como el STM-4, el STM-16, y el STM-64 (622.08 Mbps, 2488.32 Mbps y 9953.28 Mbps respectivamente) se obtienen a partir de un proceso de multiplexación.

La trama básica está formada de 9 filas de 270 bytes cada una, la frecuencia de la trama es de 8 KHz, de esta manera se obtiene la capacidad de transporte:

$$C_{STM-1} = (9\text{filas} * 270\text{bytes}) * (8\text{bits/byte}) * (8000\text{veces/seg}) = 155.520 \text{ Mbps}$$

La estructura de la trama STM-1 se muestra en la figura 1.16.

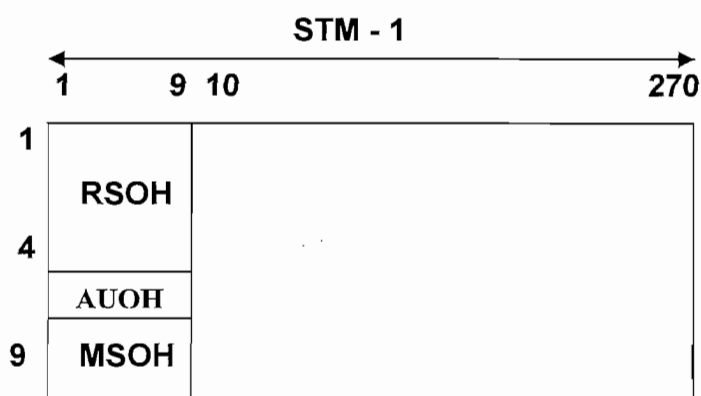


Figura 1.16. Estructura de la trama STM-1 <sup>[22]</sup>

Para completar la trama STM-1 se siguen varios encapsulamientos, la señal ingresa en un contenedor (C4) donde ingresa la carga útil (*payload*), con una cabecera POH (*Path Overhead*) que proporciona el control de la información,

formando de esta manera un contenedor virtual (VC-4), como se muestra en la figura 1.17, a este contenedor se añade la sección (AUOH) formando de esta manera una unidad administrativa (AU-4) que indica la posición del VC-4 en la trama, luego es añadido el (SOH) que completa la trama STM-1. La sección SOH está constituida por los 9 primeros bytes de cada fila, a excepción de la cuarta fila que es usada para la unidad administrativa (AUOH).

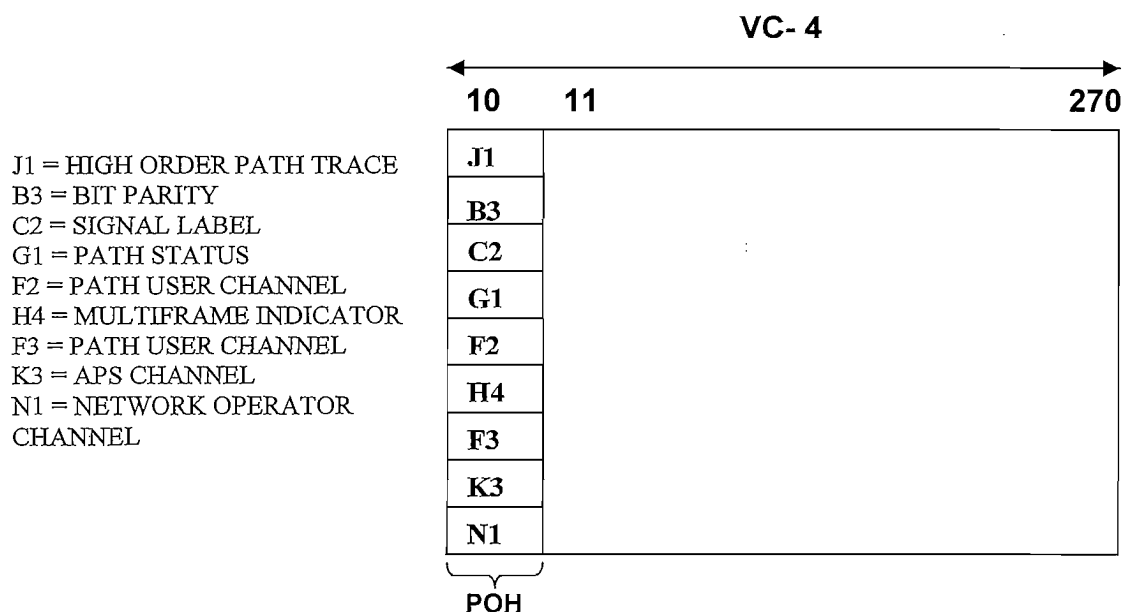


Figura 1.17. Estructura del contenedor VC-4 <sup>[22]</sup>

Los bytes correspondientes a las filas 1 a 3 (RSOH) se utilizan para aplicaciones entre repetidores, mientras que los bytes correspondientes a las filas 5 a 9 (MSOH) se aplican entre terminales de multiplexación.

### 1.3.3. MULTIPLEXACIÓN SDH

En la multiplexación se tienen dos estados, la unidad tributaria (TU) y la unidad administrativa (AU), donde es posible realizar un proceso de sincronización de los flujos numéricos destinados a construir la trama SDH. Para transportar la señal en el módulo STM-1 se hace uso de estructuras numéricas denominadas Grupo de Unidades Tributarias (TUG) obtenidas con una técnica de multiplexación y de intercalado de octetos de las TU.



Se pueden presentar los siguientes casos que pueden apreciarse en la figura 1.18:

- TU- 2 o 3TU-12 en un TUG-2
- TU-3 o 7TUG-2 en un TUG-3
- C-4 o 3TUG-3 en un VC-4

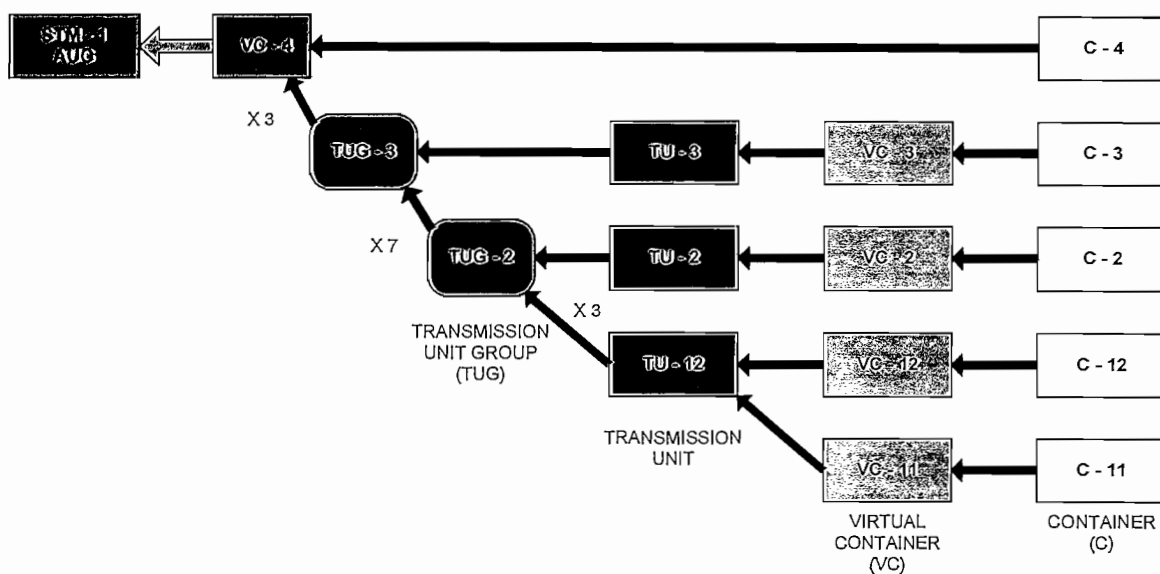


Figura 1.18. Arquitectura de multiplexación SDH [22]

Los contenedores C-n corresponden a distintas capacidades de trama SDH. Por ejemplo un contenedor C-12 tiene capacidad de 2 Mbps, C-11 capacidad de 1.5 Mbps, C-4 capacidad de 140 Mbps, C-3 capacidad de 34 Mbps, etc.

#### 1.3.4. ELEMENTOS DE UNA RED SDH

La red SDH está conformada por los siguientes elementos:

#### **1.3.4.1. Multiplexor terminal**

Actúa como concentrador de las señales tributarias o derivadas a ésta, realiza la transformación de la señal eléctrica en óptica y viceversa. Dos multiplexores terminales que pueden o no tener regeneradores intermedios conforman el enlace SDH más simple.

#### **1.3.4.2. Regenerador**

Este elemento como su nombre lo indica se encarga de regenerar la señal cuando la distancia que separa a dos multiplexores terminales es muy grande. La señal a lo largo de un enlace de transmisión puede degradarse y acumular ruido, los multiplexores configurados como regeneradores convierten la señal óptica en eléctrica, la cual es amplificada. La señal regenerada es convertida de nuevo a señal óptica y retransmitida. En la actualidad se usan los amplificadores ópticos (EDFA) que amplifican todas las longitudes de onda alrededor de 1550 nm (1530 nm a 1560 nm) por su confiabilidad y bajo costo.

#### **1.3.4.3. Multiplexor Add/Drop <sup>[29]</sup>**

El multiplexor de extracción-inserción (ADM) permite extraer en un punto intermedio de una ruta parte del tráfico cursado y a su vez insertar nuevo tráfico desde ese mismo punto. En los puntos donde se encuentre un ADM sólo aquellas señales que se necesiten serán descargadas del flujo principal de datos, el resto de señales seguirán a través de la red.

Una red SDH puede configurarse en topologías punto a punto, o punto a multipunto, pero lo más usual es la configuración en anillo. En una configuración en anillo se pueden colocar varios ADM para su tráfico unidireccional o bidireccional, brinda más seguridad, diversidad de rutas en la fibra y restauración automática en pocos segundos.

Los ADM son particularmente útiles para crear redes en anillo. Las señales son introducidas en el anillo vía interfaces tributarios de los ADM, los cuales son acoplados en la señal agregada de mayor velocidad de transmisión dentro del anillo para transportarlas a los otros nodos.

Los anillos son la configuración común de red porque pueden incrementar la supervivencia de la misma. Las redes pueden ser objeto de fallo en los nodos o roturas de enlaces por lo que es requerido este tipo de configuración para prevenir la pérdida de tráfico. En la figura 1.18, se muestra la inclusión de los ADM en una topología anillo SDH.

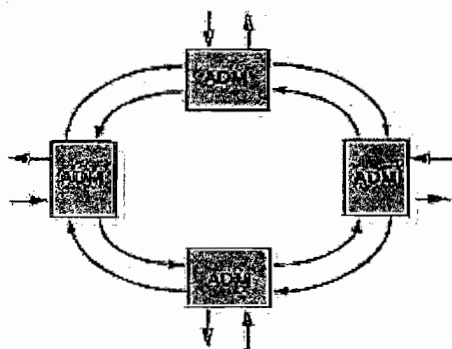


Figura 1.19. Topología en anillo SDH <sup>[30]</sup>

La cross-conectividad de los ADMs permite que la función de cross-conexión sea distribuida a lo largo de red, pero también es posible tener un único equipo cross-conector denominado cross-conector digital (DXC), se diferencia de los ADM por su capacidad de proporcionar supervisión de las conexiones, también incorporan funciones de multiplexación y terminación de línea.

#### 1.4. PRINCIPALES TECNOLOGÍAS EN REDES DE ACCESO

La red de acceso abarca los elementos tecnológicos que soportan los enlaces de telecomunicaciones entre los usuarios finales y el último nodo de la red. A menudo se denomina lazo de abonado o simplemente la última milla. Sus principales componentes son: los medios de transmisión y los elementos que realizan la adecuación de la señal a los mismos.

La necesidad de un mayor ancho de banda ha determinado que numerosas tecnologías hayan aparecido y otras a su vez se hayan fortalecido. A pesar de las enormes diferencias entre estas tecnologías, todas ellas se caracterizan por el aumento de la velocidad de transferencia de datos al usuario final en un orden de magnitud muy superior en comparación con las soluciones de banda estrecha que les precedieron.

Las redes de acceso pueden clasificarse por el tipo de medio utilizado para el transporte de la información, pueden ser medios guiados como el cobre, la fibra óptica, el cable coaxial y medios no guiados que utilizan el espectro radioeléctrico.

A continuación se describen las principales tecnologías de acceso.

#### 1.4.1. TECNOLOGIA xDSL <sup>[14]</sup>

DSL (*Digital Subscriber Line*) es una tecnología digital de banda ancha, tiene la capacidad de transportar información (voz y datos) por el par de cobre existente de líneas telefónicas entre los proveedores de servicios de red o compañías telefónicas y el usuario. Utiliza frecuencias superiores a las de voz (300 a 3400Hz). Las velocidades de transmisión varían entre 128 Kbps y 8 Mbps dependiendo del tipo de tecnología xDSL y la calidad de línea telefónica que se tenga.

La tecnología xDSL puede ser:

- Simétrica: Su característica principal es que la velocidad de transmisión así como la de recepción son iguales; dentro de esta categoría están: G.SHDSL, SDSL y HDSL.
- Asimétrica: a diferencia del anterior la velocidad descendente “*downstream*” (red-abonado) es mayor a la ascendente “*upstream*” (abonado-red) como por ejemplo ADSL y VDSL.

### 1.4.1.1. ADSL

La tecnología ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) proporciona elevadas velocidades en comparación con los módems telefónicos que ofrecen velocidades de 56 Kbps (V.90- ITU-T), pero esto es poco comparado con las de los módems ADSL que pueden llegar hasta 8 Mbps en *downstream*.

En ADSL se utilizan múltiples portadoras y cada una lleva una parte de la información del cliente modulándola en QAM. Estas portadoras llamadas tonos, tienen un ancho de banda definido de 4.3 KHz, a la suma de todos los tonos se le conoce como modulación por multitonos discretos (DMT).

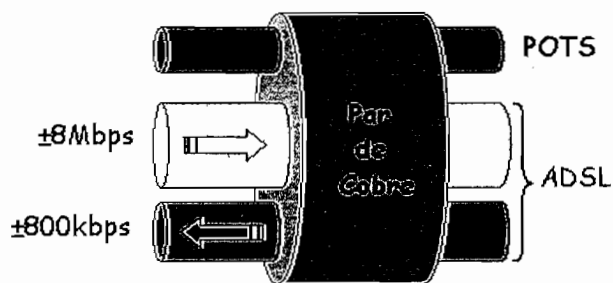
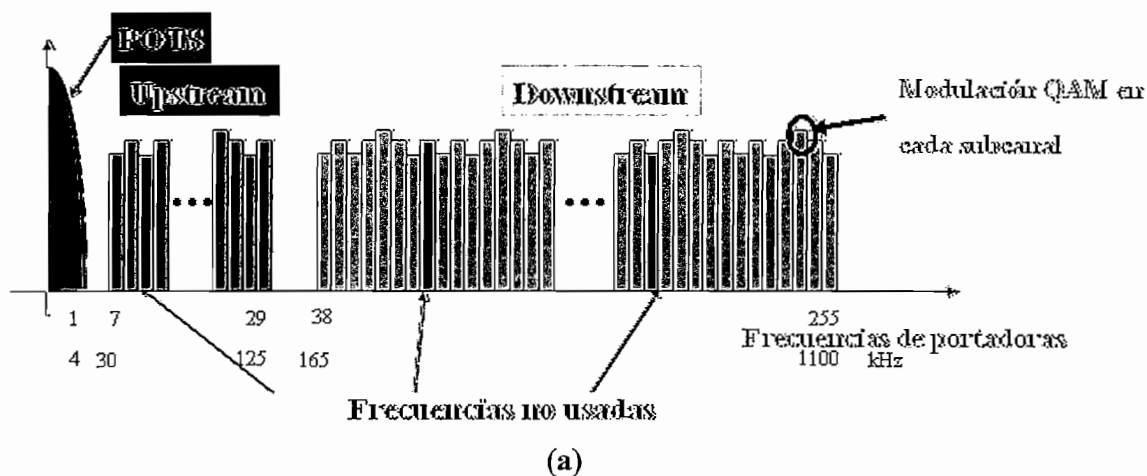


Figura 1.20. (a) Canales ascendentes y descendentes usando distintos rangos de frecuencia. (b) Representación ideal de los canales ascendente y descendente para datos y el canal de voz sobre el par de cobre. <sup>[14]</sup>

El tráfico de voz y datos es transportado sobre el mismo par de cobre simultáneamente en ambas direcciones (*full duplex*). Se hace uso de FDM (Multiplexación por división de frecuencia) para canalizar el par de cobre. Para el canal ascendente se usan las portadoras de 7 a 29 y para el canal descendente las portadoras de 38 a 255.

El direccionamiento del tráfico de datos con ADSL se hace a través del equipo ADSL, por un lado se tiene al DSLAM (Multiplexor de Acceso DSL) y por el otro se tiene a los CPE (equipo del usuario) que incluye el módem ADSL y el *splitter*. Básicamente en la red se hace uso de un par de filtros:

- El *splitter* es un dispositivo que actúa como filtro pasabajos, se encarga de dividir las señales de voz y las de datos.
- Las tarjetas ADLT-X<sup>13</sup> o cualquier módem ADSL llevan incorporado un filtro pasa altos el cual se encarga de evitar que el tráfico de POTS entre a la red de datos.

Dentro de los principales beneficios que proporciona ADSL se tiene:

- Capacidad simultánea de voz/datos e Internet sobre una única línea telefónica.
- Acceso a Internet a alta velocidad de forma ininterrumpida, lo que permite estar siempre "en línea". ADSL supera las prestaciones de los módems convencionales V.34/V.90, etc.
- No necesita instalar cableado adicional, se usa la red de cobre existente de la PSTN (Red Telefónica Pública Conmutada).
- Solución económica para clientes residenciales, pequeñas empresas, etc. Mayor seguridad de datos que supera a otras tecnologías que utilizan módem de cable. ADSL permite tener servicios como: acceso a Internet de

---

<sup>13</sup> ADSL *Line termination*, tarjetas que se encuentran en el DSLAM, proveen el acceso a la red de transporte basada en celdas ATM.

alta velocidad, audio, video, difusión bajo demanda. A nivel empresarial: videoconferencia, interconexión remota, redes LAN, etc.

#### **1.4.1.2. HDSL**

HDSL (*High-bit-rate Digital Subscriber Line*) es simétrica y utiliza módems HDSL diseñados para ofrecer servicios a velocidades de hasta de 2 Mbps sobre 2 o 3 pares de cables en anchos de banda que varían entre 8 kHz y 240 kHz según la técnica de modulación utilizada para distancias de 4.5 Km.

#### **1.4.1.3. VDSL**

VDSL (*Very High Digital Subscriber Line*) es la tecnología xDSL más rápida, soporta una velocidad descendente de hasta 55 Mbps y ascendente de 6.4 Mbps sobre un único par de Cobre (en la modalidad simétrica hasta 34 Mbps). La distancia máxima operativa para esta tecnología asimétrica es de 0.3 Km.

Una de las aplicaciones más importantes de VDSL es en redes de acceso por fibra óptica en la cuál la fibra llega hasta cierta proximidad al usuario y desde este punto se hace la conexión final a través de la red telefónica de cobre. Dentro de estas topologías se incluyen las llamadas FTTx, donde se llega con fibra a localidades cercanas al usuario final. Se aplica a FTTCab (hasta el gabinete) y FTTC (hasta la acera).

#### **1.4.1.4. SDSL**

SDSL (*Symmetric Digital Subscriber Line*) mejora considerablemente el rendimiento ya que permite mantener la misma velocidad de transmisión y recepción. Esta tecnología admite tener velocidades altas desde 144 kbps hasta 2.3 Mbps, su rango de frecuencias es de 100 KHz a 500 KHz, su aplicación básica es para dar comunicación entre empresas o entidades que requieren de una conexión permanente de alta confiabilidad y gran velocidad. La distancia máxima requerida es de 3.4 Km.

#### 1.4.1.5. G.SHDSL

Es la primera tecnología DSL simétrica estandarizada, esta tecnología nace para reemplazar a las tecnologías SDSL, transmite datos a velocidades desde 192 Kbps hasta 2.312 Mbps sobre un par de cobre, tiene un funcionamiento opcional a cuatro hilos con velocidades de 384 Kbps a 4.624 Mbps, no soporta el uso de *splitters* analógicos, por ser un estándar presenta compatibilidad con varios tipos de marcas de equipos DSLAM.

#### 1.4.2. RDSI <sup>[15]</sup>

La RDSI (Red Digital de Servicios Integrados) proporciona conectividad punto a punto integrando varios servicios como voz, datos, video, sobre un único medio de transmisión. Permite alta velocidad de transmisión de la información, interoperatividad con otros servicios como la telefonía convencional, X.25, *Frame Relay*, ATM.

Los estándares RDSI definen esquemas de hardware y de configuración de llamadas para la conectividad digital de extremo a extremo. Básicamente, la función de digitalización se realiza en el sitio del usuario en lugar de realizarse en la compañía telefónica. Es un servicio orientado a conexión por lo que requiere el establecimiento de la conexión para la transmisión de información, el procedimiento es similar a una llamada telefónica.

Los componentes de RDSI incluyen terminales, adaptadores de terminal (TA), dispositivos de terminación de red (NT), equipo de terminación de línea y equipo de terminación de central telefónica.

Hay dos tipos de servicios en RDSI:

- a. El servicio BRI (*Basic Rate Interface*) de RDSI ofrece dos canales B de 8 bits y un canal D de 2 bits, denominados 2B+D. BRI suministra un ancho de banda total de 144 Kbps en tres canales individuales. El canal B opera a



64Kbps, está diseñado para transportar datos de usuario y tráfico de voz. El canal D es un canal de señalización que opera a 16Kbps, está diseñado para transportar información de control y señalización.

- b. El servicio PRI (*Primary Rate Interface*) de RDSI ofrece 23 canales de 8 bits y un canal D de 8 bits mas 1 bit de entramado en América del Norte y Japón, se denomina 23B+D, tiene un ancho de banda de 1.544 Mbps, el canal D de PRI funciona a 64Kbps. En Europa, Australia y otras partes del mundo se suministra 30 canales B de 8 bits más un canal D de 8 bits y un canal de entramado de 8 bits, se denomina 30B+D y tiene un ancho de banda de 2.048 Mbps.

### 1.4.3. TECNOLOGÍA HFC <sup>[31]</sup>

La red HFC (*Hybrid Fiber Coax*) es una red de telecomunicaciones que combina la fibra óptica y el cable coaxial para la transmisión de información. La estructura de red contiene básicamente los siguientes componentes: la cabecera, la red troncal y la red de acceso.

La cabecera es el centro desde el que se gobierna todo el sistema. Su complejidad depende de los servicios que presta la red, la cabecera es también la encargada de monitorizar la red y supervisar su correcto funcionamiento. La red troncal suele presentar una estructura en forma de anillos redundantes de fibra óptica que une a un conjunto de nodos primarios. Esta estructura usa tecnología SDH, que permite construir redes basadas en ATM. Los nodos primarios alimentan a otros nodos (secundarios) mediante enlaces punto a punto o bien mediante anillos.

La red de acceso tiene un canal de comunicaciones para la transmisión ascendente y otro para la transmisión descendente. La figura 1.21, muestra la estructura de la red de acceso. Mediante la red de distribución se llega hasta el usuario, partiendo desde el nodo óptico a zonas de distribución distintas.

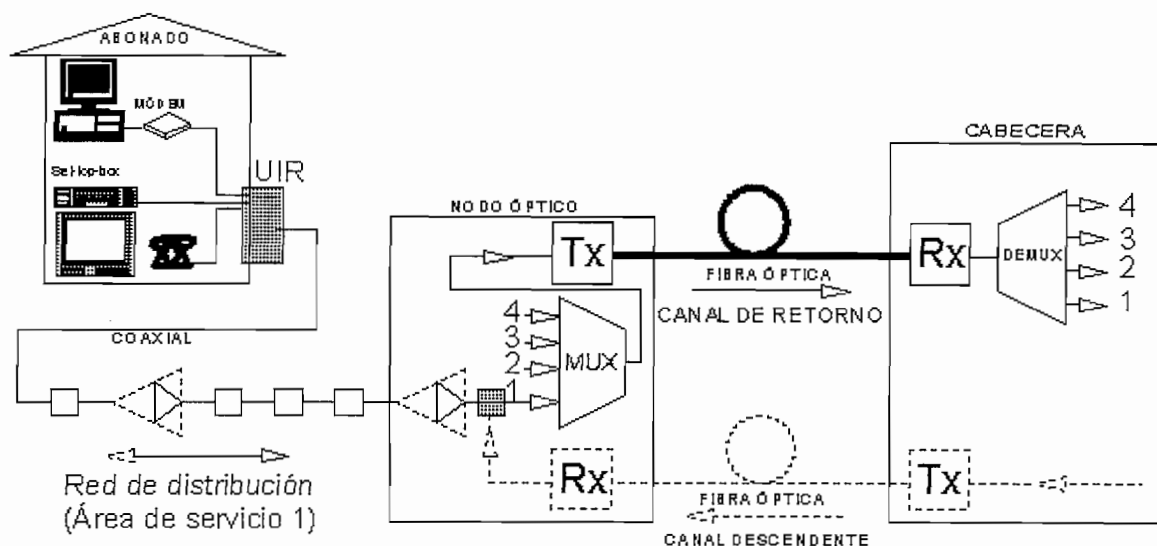


Figura 1.21. Estructura de una red de acceso usando tecnología HFC <sup>[31]</sup>

La transmisión de datos en redes HFC se realiza a través de un medio de acceso compartido, en el que un grupo más o menos grande de usuarios comparte un ancho de banda generalmente grande. En la figura 1.21 se puede apreciar que del nodo óptico parten 4 buses de cable coaxial que sirven a 4 áreas de distribución distintas. Si por ejemplo, el nodo sirve a 500 hogares, cada bus dará servicio a unos 125 hogares, que compartirán los 50 MHz del canal de retorno. En el lado del usuario, existe una Unidad de Interfaz de Red (UIR) que sirve para conectar los equipos terminales de abonado tales como el *cable módem* y el decodificador (TV/*set-top-box*) a la red HFC.

El *cable módem* al igual que un módem analógico modula y demodula señales de datos, dispone además de funciones de encriptación y puede ser configurado como *router* o *brídge*, puede ser direccional o unidireccional, tiene 2 interfaces: interfaz con el cable coaxial que se une a la acometida mediante el UIR usando un conector tipo F y la interfaz hacia el computador utilizando un conector tipo RJ-45. El *cable módem* tiene un conector RJ-11 para línea telefónica, éste puede ser utilizado en el caso de que la compañía que da la tecnología HFC pueda brindar servicios de voz sobre IP. Es un módem asimétrico, recibe datos a velocidades de

hasta 30 Mbps. y transmite hasta 10 Mbps. Los valores más comunes son 10Mbps para canal descendente y de 1 a 2 Mbps para canal ascendente.

La recepción de datos se realiza por un canal de entre 6 y 8 MHz y utiliza modulación digital 64-QAM. En sentido ascendente utiliza un canal de 200 KHz a 2 MHz y una modulación digital QPSK.

#### **1.4.4. REDES DE ACCESO INALÁMBRICO <sup>[32]</sup>**

Las tecnologías de acceso inalámbrico han tenido su principal uso en lugares inaccesibles donde la instalación de cableado no es posible, pero tienen la desventaja de ser vulnerables a la interferencia, al ruido y al desvanecimiento de la señal debido a efectos atmosféricos. Pueden utilizar tecnología de radio terrestre fija (LMDS, MMDS) o móvil (tecnología celular). La comunicación satelital es otra alternativa para brindar servicios de banda ancha. A continuación se hace una descripción de las redes de acceso inalámbricas.

##### **1.4.4.1. LMDS**

LMDS (*Local Multipoint Distribution System*) es un sistema de comunicación punto a multipunto inalámbrico para transmisiones sobre banda ancha; permite transmitir servicios de voz, datos, Internet y video en las frecuencias sobre los 25 GHz. En comparación con las tecnologías basadas en cable, los sistemas LMDS se pueden instalar muy rápidamente, el sistema modular de su arquitectura permite una ampliación progresiva en función de las necesidades y del aumento de la demanda de usuarios, requiere línea de vista.

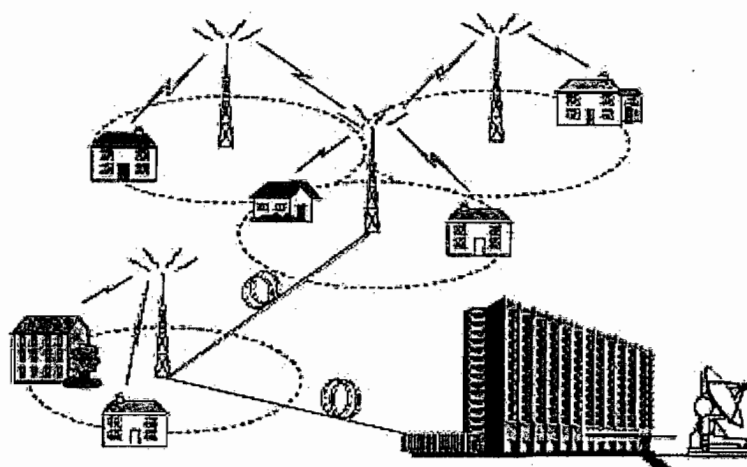


Figura 1.22. Sistema LMDS <sup>[32]</sup>

La arquitectura del sistema punto a multipunto consiste de un conjunto de estaciones base interconectadas entre sí y con la central de control de red que provee servicio a una determinada cantidad de abonados agrupados en el interior de celdas de radio variable. Para la alimentación de las estaciones base se puede optar por radioenlaces punto a punto o bien utilizar enlaces de fibra óptica. En este último caso se tendría un esquema de acceso híbrido fibra-radio. La arquitectura de red del sistema inalámbrico consiste de tres elementos principalmente: estación base, equipamiento de usuario y sistema de gestión de red.

Las comunicaciones en los sistemas LMDS se realizan en forma de radiodifusión desde la estación base hacia los usuarios, al mismo tiempo, dado que la comunicación es bidireccional, los usuarios también pueden establecer enlaces punto a punto con dicha estación base. Para el enlace descendente (de estación base a usuario) suele utilizarse TDMA como técnica de acceso. Por otro lado, para el enlace ascendente (de usuario a estación base) se utilizan combinaciones de acceso múltiple TDMA y FDMA. Los esquemas de modulación más empleados son QPSK y QAM. Las modulaciones de fase QPSK son más resistentes frente a interferencias y distorsión que las modulaciones de amplitud QAM, aunque como desventaja se tiene una menor eficiencia espectral que conduce a menores velocidades de transmisión.

#### 1.4.4.2. MMDS

El sistema MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Services*) se concibió originalmente para la distribución de video en aquellas zonas en las que, por sus características era imposible el tendido del cable. El sistema MMDS se implantó originalmente operando en la banda 2.150 a 2.686 MHz, pero en otros lugares la misma tecnología funciona entre los 2 y 3 GHz.

En la actualidad, la mayor parte de las licencias en la banda MMDS están dedicadas a la transmisión de señales de televisión analógicas, aunque existen excepciones; es por esta razón que este servicio ha venido denominándose también cable inalámbrico. Los sistemas de acceso son de tipo banda ancha compartido. La señal descendente usa TDM con las portadoras moduladas en 64-QAM y la señal ascendente usa TDMA con portadoras moduladas en QPSK.

#### 1.4.4.3. Tecnología inalámbrica móvil

Los primeros sistemas móviles o de primera generación eran analógicos, sus terminales eran voluminosos y su área de cobertura se limitaba a grandes ciudades y carreteras principales cubría grandes ciudades.

Con la llegada de los sistemas de segunda generación, tales como TDMA (*Time Division Multiple Access*), CDMA (*Code Division Multiple Access*) y GSM (*Global System for Mobile Communications*) entre los más importantes. La cobertura se extiende y la transmisión de datos es posible aunque a velocidades muy pequeñas. TDMA divide una determinada frecuencia en *slots* de tiempo ("*timeslots*") y asigna *slots* a múltiples llamadas, una sola frecuencia puede soportar múltiples y simultáneos canales de datos, TDMA es usado por GSM, esta tecnología permite ocho llamadas simultáneas en la misma radiofrecuencia. Por otra parte CDMA utiliza por completo el espectro disponible, codifica llamadas individuales con una secuencia digital aleatoria (técnica: "*spread spectrum*"). Dentro de los sistemas denominados generación 2.5, se tiene: GPRS (*General Packet Radio Service*) y EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*). EDGE es la tecnología que evoluciona GSM para aumentar las tasas de transmisión de

datos, la idea principal es agregar nuevas características en la red GSM, manteniendo la compatibilidad con los terminales y equipos de red.

Actualmente se dispone ya de la tecnología UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) que es el sistema de telecomunicaciones móviles de tercera generación. UMTS ha sido concebido como un sistema global, que incluye tanto componentes terrestres como satelitales. Terminales multimodales capaces de funcionar también en sistemas de Segunda Generación (2G), tales como las bandas de frecuencias GSM 900, 1800 y 1900 extenderán aún más el alcance de muchos servicios UMTS. Con estas terminales, un abonado tendrá la posibilidad de usar el *roaming*<sup>14</sup> desde una red privada hacia una red pública, luego a una red macrocelular de un área amplia (por ejemplo, una red de 2G), hasta una red satelital, con una interrupción ínfima de la comunicación.

UMTS ofrece servicio de voz de alta calidad, soporta velocidades de 2 Mbps, esta capacidad sumada al soporte inherente del protocolo IP, se combinan para prestar servicios multimedia interactivos y nuevas aplicaciones de banda ancha, tales como servicios de video telefonía y video conferencia. UMTS integra la transmisión de datos en paquetes y por circuitos conmutados de alta velocidad para obtener beneficios como: conectividad virtual a la red en todo momento, formas de facturación alternativas (por ejemplo, pago por byte, por sesión, tarifa plana, ancho de banda asimétrico de enlace) según lo requieran los variados servicios de transmisión de datos que están haciendo su aparición.

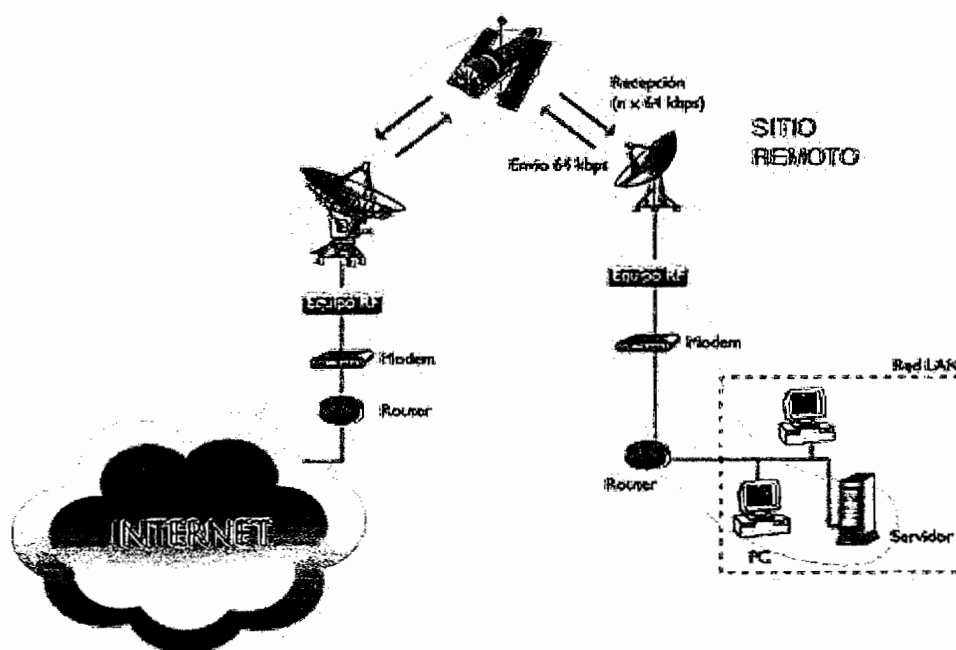
#### **1.4.4.4. Redes de Acceso Satelitales**

El objeto de las comunicaciones vía satélite es establecer radioenlaces entre estaciones fijas o móviles a través de repetidores activos o pasivos situados en una órbita alrededor de la Tierra, ofrecen grandes capacidades para el desarrollo de redes privadas. El sistema VSAT (*Very Small Aperture Terminal*, Terminal de Pequeña Apertura) surge como una respuesta a la amplia difusión de las redes de comunicaciones privadas por satélite.

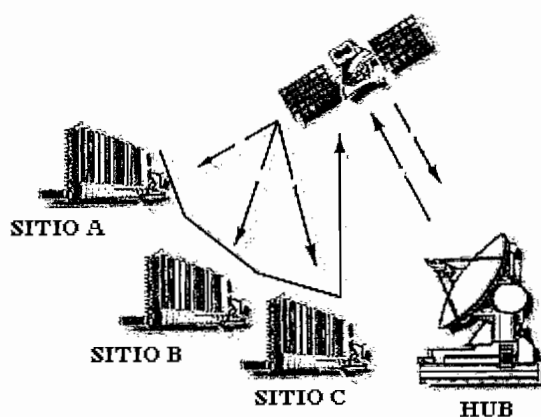
---

<sup>14</sup> Roaming es un servicio ofrecido por las compañías celulares que permite usar la señal recibida fuera del área de cobertura sin pérdida de la señal.

La VSAT es una estación terrena del servicio fijo por satélite (geoestacionario<sup>15</sup>) y hace referencia a las antenas de plato de diámetro pequeño. Las VSAT son utilizadas para una gran variedad de aplicaciones en el campo de las telecomunicaciones, que incluye las comunicaciones de datos interactivas, operación de redes con conmutación de paquetes, servicios de voz, transmisión de datos, video y operación en red en una vasta área.



(a)



(b)

Figura 1.23. (a) Red de acceso satelital. (b) Sistema VSAT. <sup>[32]</sup>

<sup>15</sup> Los satélites geoestacionarios giran en un patrón circular con una velocidad angular igual a la de la Tierra, se encuentran ubicadas a 36000 Km de la superficie terrestre.

El tipo más común de VSAT es la de configuración en estrella, como se muestra en la figura 1.23, depende de la operación de la Estación Terrena Maestra (HUB) (cuenta con una antena parabólica de gran diámetro generalmente de 4 a 8 m) para la retransmisión de datos. Las VSAT individuales no pueden recibir las transmisiones directamente de unas a otras pero se comunican en forma exclusiva con la Estación Terrena Maestra utilizando transmisiones generalmente "en ráfaga" y protocolos de contención para minimizar la amplitud de banda necesaria. El diámetro de la antena de la estación terrena VSAT en general oscila entre 1.2 m y 3.8 m, y pueden operar tanto en la Banda C (4-7 GHz) como en la Banda Ku (12-14 GHz).

#### **1.4.5. REDES DE ACCESO POR FIBRA ÓPTICA**

En la actualidad, más del 90% del tráfico de información de larga distancia en los Estados Unidos es transportado sobre fibras ópticas. Sin embargo, los pares de cobre son todavía ampliamente usados para conexiones en distancias cortas entre la oficina central y los abonados.

La tecnología de fibra a la casa FTTH (*Fiber-To-The-Home*) representa una solución atractiva para proveer un amplio ancho de banda desde la CO (*Central Office*) a las residencias y para pequeñas y medianas empresas. FTTH es de costo efectivo porque usa la red óptica pasiva (PON)<sup>16</sup>.

Lo que hace de FTTH más interesante es la facilidad para la realización de pruebas de red, medidas y monitoreo. Estos sistemas persiguen los mismos principios básicos de las redes estándar de fibra, haciendo posible el uso de muchas de las mismas herramientas para su instalación y mantenimiento.

##### **1.4.5.1. Introducción a FTTx<sup>[16]</sup>**

En 1995, *British Telecom*, *Bell South*, *Bell Canadá*, *NTT*, y otras cinco compañías internacionales de telecomunicaciones se reúnen para formar el FSAN (*Full*

---

<sup>16</sup> Referirse a la sección 1.6.



*Service Access Network*), el cual fue creado para facilitar el desarrollo de un conjunto de estándares sobre equipamiento en redes de acceso.

La ITU convirtió las especificaciones FSAN en recomendaciones. La especificación FSAN para PONs basadas en ATM llegó a ser un estándar internacional en 1998 y fue adoptada por la ITU como la recomendación G.983.1.

En el año 2001 se formó el Consejo FTTH para promover FTTH en Norte América. Esto resultó en la Ley de Acceso a Internet de Banda Ancha del 2001, la cual provee incentivos fiscales a compañías que inviertan en equipo de banda ancha de nueva generación.

En el año 2003, la FCC (*Federal Communication Commission*) de Estados Unidos, eliminó algunos requerimientos sobre redes FTTx (la obligación de RBOCs<sup>17</sup> para permitir a CLECs<sup>18</sup> usar su red), haciendo a la tecnología más atractiva para los principales *carriers*. Esto significa que RBOCs puede invertir en infraestructura de fibra en la última milla sin tener que compartirla con competidores, lo que debería proveer un mayor incentivo hacia el desarrollo de redes FTTx. Algunos predicen un mercado de 1 billón de dólares para las redes FTTx para RBOCs solamente.

Como resultado de todos estos desarrollos recientes, el interés por FTTx ha incrementado notablemente:

- Pequeñas empresas y clientes residenciales están demandando más ancho de banda y más servicios.
- FTTx ofrece la capacidad de más ancho de banda de las fibras ópticas y una amplia diversidad de servicios (datos, POTs, video) a un costo más bajo ya que un cierto número de usuarios finales pueden compartir ancho de banda sobre una simple fibra, y porque todo el equipo fuera de la planta es pasivo.

---

<sup>17</sup> RBOC (*Regional Bell Operating Company*), Compañía regional de teléfonos en U.S.

<sup>18</sup> CLEC (*Competitive Local Exchange Carrier*), Compañía que presta sus servicios como *carrier*.

- Nuevos estándares tales como aquellos establecidos por la ITU y la IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) han incrementado la capacidad, supervivencia, seguridad y versatilidad de PONs, abriendo la oportunidad para las economías de escala masiva y costos extremadamente más bajos.
- FTTx puede ahora ser ofrecido por muchos tipos diferentes de *carriers* en los Estados Unidos.

Adicionalmente, muchos países en Asia (China, Japón, Korea, Singapore y Taiwan) y Europa están actualmente probando o desarrollando PONs, y el comité IEEE 802.3ah ya está redactando estándares para EPON.

#### 1.4.5.2. FTTx PON

El desarrollo de la fibra óptica monomodo, con su gran ancho de banda, ha abierto la puerta al despliegue masivo de las redes metropolitanas punto-punto de fibra y de largo alcance. El uso del cable de fibra óptica en lugar del cable de cobre permite reducciones significativas en los costos de equipamiento y mantenimiento, incrementando drásticamente la calidad de servicio (QoS). Muchos clientes corporativos ahora tienen acceso a servicios de redes de fibra óptica punto-punto.

A pesar de sus ventajas, los cables de fibra óptica no han sido ampliamente usados en la "última milla", porque este segmento es típicamente basado en cobre, los servicios de alta velocidad disponibles para clientes residenciales y pequeñas empresas son limitados a las xDSL y HFC, estas tecnologías presentan las siguientes limitantes:

- Proveen ancho de banda limitado en un contexto donde hay un crecimiento explosivo en demanda para más ancho de banda y servicios de alta velocidad.
- El equipamiento requiere gran inversión en mantenimiento.

- xDSL y HFC no permiten a los *carriers* proveer “triple-servicio” (voz, video y datos) y otros servicios para aplicaciones interactivas de alta velocidad a clientes residenciales a un costo efectivo.

A pesar de que los cables de fibra óptica superan todas estas limitaciones, uno de los obstáculos para proveer servicios de fibra óptica directamente a las residencias y pequeñas empresas ha sido el alto costo de conectar a cada suscriptor a la CO (*Central Office*). Un alto número de conexiones punto a punto requerirían muchos componentes activos y muchos cables de fibra óptica y por lo tanto tendrían impedimentos de instalación y costos de mantenimiento altos.

La arquitectura FTTx ofrece una solución atractiva a esos problemas. Con FTTx, una red óptica pasiva PON permite a algunos clientes compartir la misma conexión, sin ningún componente activo (por ejemplo, componentes que generan o transforman la luz a través de la conversión óptica-eléctrica-óptica).

Una fibra es llevada desde un OLT (*Optical Line Terminal*) en la CO hasta el FDH (*Fiber Distribution Hub*) cerca de un grupo de clientes. De ese punto, un *splitter* óptico pasivo (POS, *Passive Optical Splitter*) es usado para conectar típicamente a 32 clientes a la misma fibra. Luego, cada cliente local es provisto con un ONU (*Optical Network Unit*) el cual recibirá el nombre de ONT (*Optical Network Terminal*) cuando llegue el equipo hasta el usuario. El ONU es conectado a cada derivación del *splitter*. Esta arquitectura punto-multipunto reduce dramáticamente los costos de instalación, administración y mantenimiento de la red.

Varios anchos de banda compartidos serán ofrecidos dependiendo de los requerimientos del cliente. Hasta ahora, han sido planificadas velocidades típicas simétricas o asimétricas de 155 Mbps, 622 Mbps, 1 Gbps y 2.5 Gbps. El protocolo de preferencia está basado en ATM y es llamado ATM PON (APON). Otras tecnologías como EPON (*Ethernet Passive Optical Networks*), también son posibles.

Hay varias arquitecturas FTTx, éstas se determinan por el sitio hasta donde llega la fibra, a continuación se describen las arquitecturas más utilizadas.

- FTTB (*Fiber-To-The-Building*).- En la cual se llega con fibra óptica hasta el edificio, la distribución hacia los puntos finales se la hace con cobre.
- FTTCab (*Fiber-To-The-Cabinet*).- En ésta arquitectura se llega con fibra óptica hasta el armario de telecomunicaciones, desde ese punto se llega con cobre hasta el usuario utilizando VDSL.
- FTTC (*Fiber-To-The-Curb*).- En ésta arquitectura se llega con fibra óptica hasta la acera.
- FTTH (*Fiber-To-The-Home*).- En ésta arquitectura se llega con fibra óptica hasta el usuario, también puede denominarse FTТУ (*Fiber-To-The-User*).

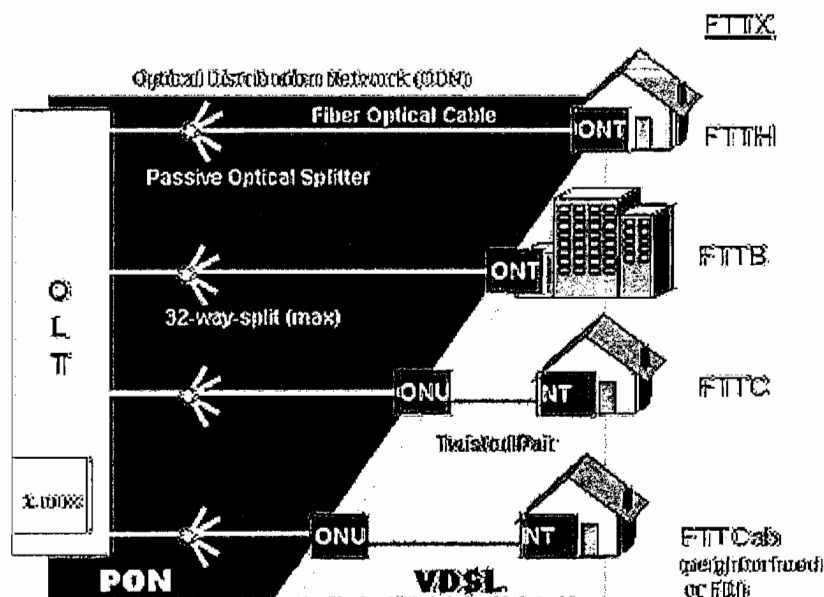


Figura 1.24. Arquitecturas de redes FTTx más usuales <sup>[33]</sup>

## 1.5. SERVICIOS EN SISTEMAS DE BANDA ANCHA

La plataforma ATM por sus características ofrece gran variedad de servicios, esto aplicado a un medio de transmisión que provee mayor ancho de banda permite obtener varios servicios para satisfacer las necesidades de los usuarios.

La tabla 1.3 resume los servicios que pueden ser ofrecidos sobre PONs por un solo *carrier*.

SERVICIOS	
<b>Datos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Internet de alta velocidad</li> <li>• Transmisión de datos</li> <li>• Líneas privadas</li> <li>• Frame Relay</li> <li>• Conexiones ATM</li> <li>• Juegos Interactivos</li> <li>• Monitoreo y Sistemas de seguridad</li> <li>• Servicios Futuros</li> </ul>
<b>POTS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Líneas de teléfono únicas o múltiples</li> </ul>
<b>Video</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Difusión de video analógico y digital</li> <li>• Televisión de alta definición (HDTV)</li> <li>• Video bajo demanda (VoD)</li> <li>• Videoconferencia</li> <li>• Televisión interactiva / Pago por ver (<i>Pay Per View</i>)</li> </ul>

Tabla 1.3. Servicios disponibles sobre PONs <sup>[16]</sup>

De los servicios de Banda Ancha mencionados en la tabla 1.3 se destacan los siguientes:

- **Transmisión de datos.** El servicio de transmisión de datos provee de un enlace dedicado para el envío y recepción de información, estableciéndose un canal exclusivo “punto a punto”.
- **Internet de alta velocidad.** El acceso a la red de redes “Internet” será de manera más eficiente, el sistema APON permitirá tener grandes velocidades de recepción de información.
- **Voz sobre IP.** Servicio que permite la transmisión de voz a través de la red de datos.
- **Videoconferencia.** Servicio multimedia que permite la interacción entre distintos grupos de trabajo en sitios diferentes.

- **Video bajo demanda.** Servicio que permite la transmisión de video de forma interactiva, en la cual el usuario pueda recibir la señal de video deseada y en el momento que lo requiera.
- **Televisión de alta definición (HDTV).** Es un formato de TV digital en calidad superior en comparación con los sistemas ya existentes, utiliza compresión MPEG-2.
- **Televisión por cable.** Es la transmisión de televisión codificada y hace uso de transmisión satelital para tener acceso a la señal de televisión.

## 1.6. TECNOLOGÍA APON <sup>[16][17]</sup>

### 1.6.1. GENERALIDADES

Una APON (*ATM Passive Optical Network*) consiste en una red cuya planta externa (fibra y componentes ópticos) es totalmente pasiva, está conformada de una Terminación de Línea Óptica (OLT, *Optical Line Terminal*), una Terminación de Red Óptica (ONT, *Optical Network Terminal*), fibra óptica que soporta los componentes ópticos pasivos que conforman la Red de Distribución Óptica (ODN, *Optical Distribution Network*) y un sistema de gestión de red.

La sección óptica del sistema de red de acceso local puede ser una arquitectura punto a punto o una arquitectura punto a multipunto. Se pueden presentar arquitecturas como Fibra a la casa (FTTH), fibra al edificio o a la acera (FTTB/C) o fibra hasta el armario (FTTCab). La figura 1.25 presenta un esquema general de la arquitectura APON.

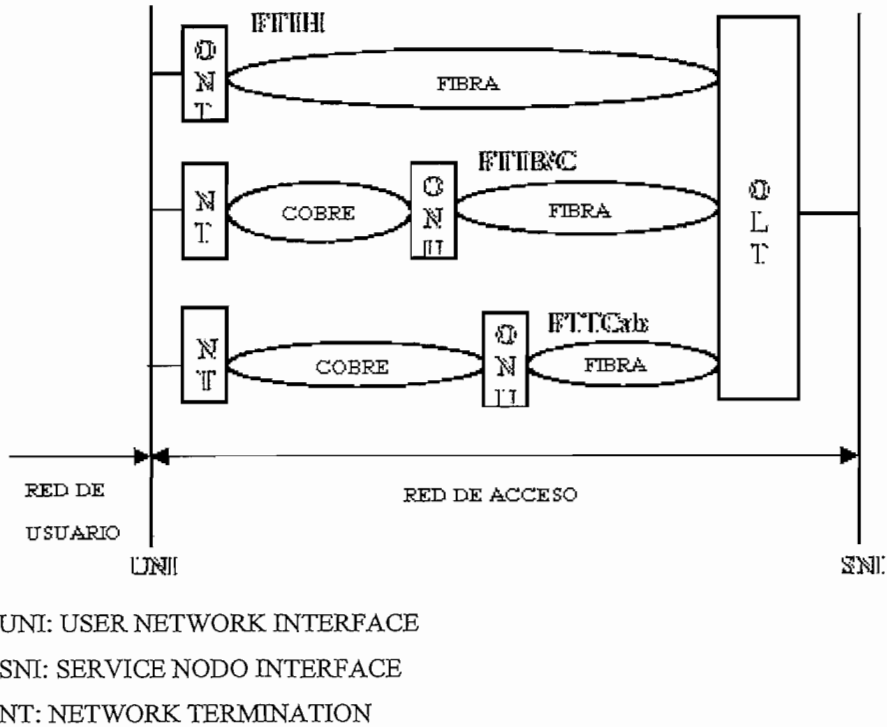


Figura 1.25. Arquitectura de red PON <sup>[17]</sup>

#### a. Terminal de línea óptica (OLT)

El OLT es responsable de manejar todas las especificaciones PON y aspectos referidos al sistema de transporte ATM, está ubicado en el lado de la oficina central. El OLT y el ONU proveen transparencia al servicio de transporte ATM entre la UNI y el SNI. El OLT está formado por: la función puerto de servicio, la interfaz ODN (*Optical Distribution Network*) y el MUX.

#### ➤ Función puerto de servicio

Puede manejar la inserción de celdas ATM en la carga útil de la trama ascendente y extracción de celdas ATM de la carga útil de la trama descendente.

➤ **La interfaz ODN**

La terminal de línea PON maneja el proceso de conversión optoelectrónica. La interfaz ODN se encarga de la inserción de celdas ATM en la carga útil de la trama PON descendente (hacia el usuario) y extracción de celdas ATM de la carga útil de la trama PON ascendente (hacia el OLT).

➤ **MUX**

El MUX provee caminos virtuales (VP<sup>19</sup>) entre la función puerto de servicio y la interfaz ODN, diferentes VP son asignadas a diferentes servicios en la interfaz PON. Información tal como el contenido principal, señalización y flujos OAM (Operación, Administración y Mantenimiento) pueden ser intercambiados usando VCs de un VP.

*b. Unidad de red óptica (ONU)*

El ONU provee la interfaz de la red de acceso con el usuario y es conectado a la ODN. El ONU para FTTH recibe el nombre de Terminal de Red Óptica (ONT). El ONU está formado por la interfaz ODN, puertos de usuario, multiplexación y demultiplexación de clientes y servicios.

➤ **Interfaz ODN**

La interfaz ODN maneja el proceso de conversión optoelectrónica. La interfaz ODN extrae celdas ATM descendentes de la carga útil de la trama PON e inserta las celdas ATM ascendentes en la carga útil de la trama PON.

➤ **Multiplexación**

El MUX multiplexa interfaces de servicio a la interfaz ODN. Solamente celdas ATM válidas pueden ser pasadas a través del MUX, varios VPs pueden compartir el ancho de banda asignado en sentido ascendente efectivamente.

---

<sup>19</sup> Referirse a la sección 1.2.3.



### ➤ Puerto de Usuario

El puerto de usuario hace de interfaz desde el UNI hacia el terminal. El puerto de usuario podría manejar celdas ATM insertándolas en la carga útil ascendente y extrayendo celdas ATM de la carga útil descendente.

### *c. Red de distribución Óptica (ODN)*

La ODN provee el medio de transmisión óptico para la conexión física desde el OLT hacia el usuario y viceversa. Ésta utiliza componentes ópticos pasivos. La ODN consiste de fibra monomodo, conectores ópticos, componentes pasivos de ramificación, atenuadores ópticos pasivos, empalmes, etc.

### 1.6.2. FUNCIONAMIENTO

Una única APON puede equiparse hasta con 64 ONTs, aunque típicamente el rango está entre 32 y 48. La OLT puede estar a 20 Km de distancia de las ONTs, permitiendo a una APON cubrir una extensa área geográfica. Una OLT puede soportar múltiples APONs, lo que, combinando con la capacidad de filtrado de las APONs, significa que una OLT puede soportar un gran número de usuarios. La técnica WDM para multiplexar la señal utiliza tres longitudes de onda distintas, permiten transmitir datos bidireccionales y distribución de video en fibra. En la dirección descendente, las señales de voz y de datos se distribuyen a 1490 nm utilizando el protocolo TDM (Multiplexación por División de Tiempo), en la dirección ascendente se utilizan 1310 nm en conjunción con el protocolo TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) a fin de soportar el medio de conexión compartido multipunto a punto. La tercera longitud de onda a 1550 nm transporta la distribución de video desde la OLT a las ONTs, constituyendo un método eficiente en coste para entregar un gran número de canales de video analógico y/o digital a los usuarios. No se realiza la transmisión de video en forma ascendente. Según la recomendación G.983.1 de la ITU-T, una APON puede trabajar a 155.52 Mbps simétrico para FTTCab/B/C/H, y asimétrico a 155.52 Mbps

en sentido ascendente y a 622.08 Mbps en sentido descendente para FTTCab/B/C.

La ONT filtrará las celdas entrantes y solo recuperará aquellas que estén direccionadas a ella, haciendo uso del campo de dirección de 28 bits VPI/VCI que presenta cada celda ATM. Primeramente la OLT enviará un mensaje a la ONT para indicarle que acepte celdas con cierto valor de VPI/VCI.

Debido al uso de TDMA en la dirección de subida, cada ONT está sincronizada en tiempo con todas las otras ONT. Esto se logra por medio de un proceso de determinación de distancia, donde cada OLT debe determinar la distancia a la que se encuentra cada ONT, de tal forma que le sea asignada los *slots* de tiempo óptimos en los cuales pueda transmitir sin interferir con otras ONTs. La OLT entonces enviará mensajes de concesión a través de las celdas de capa física de operación, administración y mantenimiento (PLOAM, *Physical Layer Operations, Administration and Maintenance*) para proporcionar los *slots* TDMA que son asignados a la ONT. La ONT adapta la interfaz de servicio a ATM, y la envía hacia la PON usando el protocolo TDMA.

Ethernet y E1s son dos ejemplos de lo que puede ser transportado sobre la APON. Como la APON es independiente del servicio, todos los servicios heredados y futuros pueden ser fácilmente transportados. El formato de la trama básica entre la OLT y la ONT se muestra en las figuras 1.26 y 1.27 del caso simétrico y asimétrico respectivamente.

La interfase descendente para las estructuras de 622.08 Mbps y 155.52 Mbps consiste de un flujo continuo de *time slots*, cada *time slot* contiene 53 octetos de celdas ATM o celdas PLOAM. Para el caso de 155.52 Mbps descendente se inserta una celda PLOAM cada 28 *time slots*, la trama contiene 2 celdas PLOAM y tiene una longitud de 56 *slots*. Para el caso de 622.08 Mbps descendente se insertan 8 PLOAM cada 28 *time slots*; la trama tiene una longitud total de 224 *slots*. La trama ascendente contiene 53 celdas de 53 bytes cada una, El OLT solicita al ONU que le transmita celdas ATM mediante las celdas PLOAM que van

en sentido descendente, la velocidad a las que se envían las celdas PLOAM puede ser programable en el OLT, siendo la mínima velocidad de una celda PLOAM cada 100 ms.

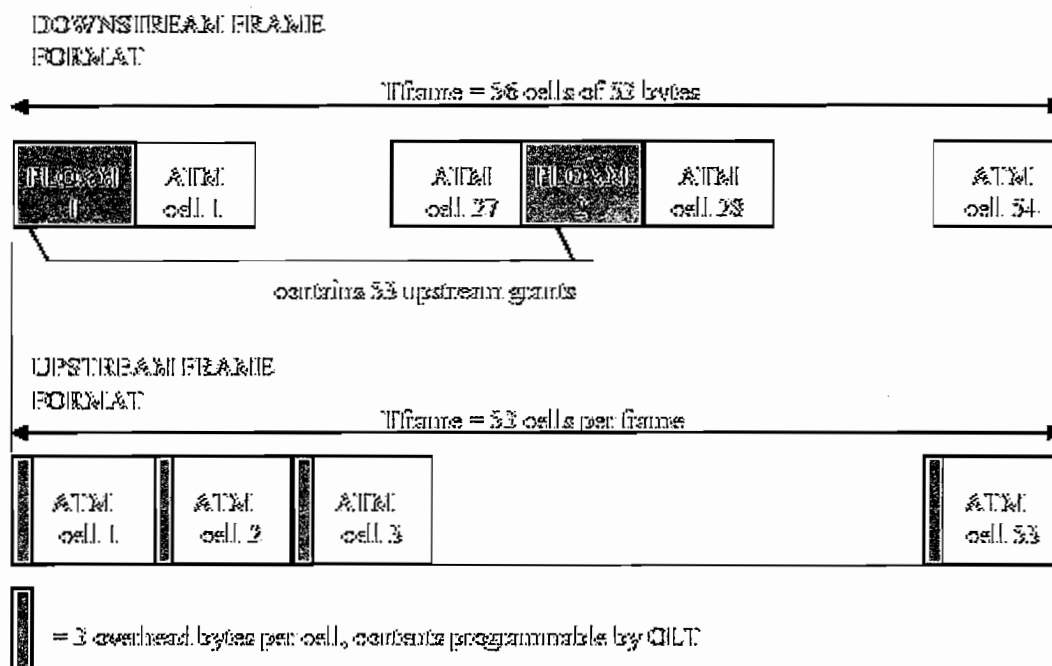


Figura 1.26. Formato de la trama APON para 155.52/155.52 Mbps <sup>[17]</sup>

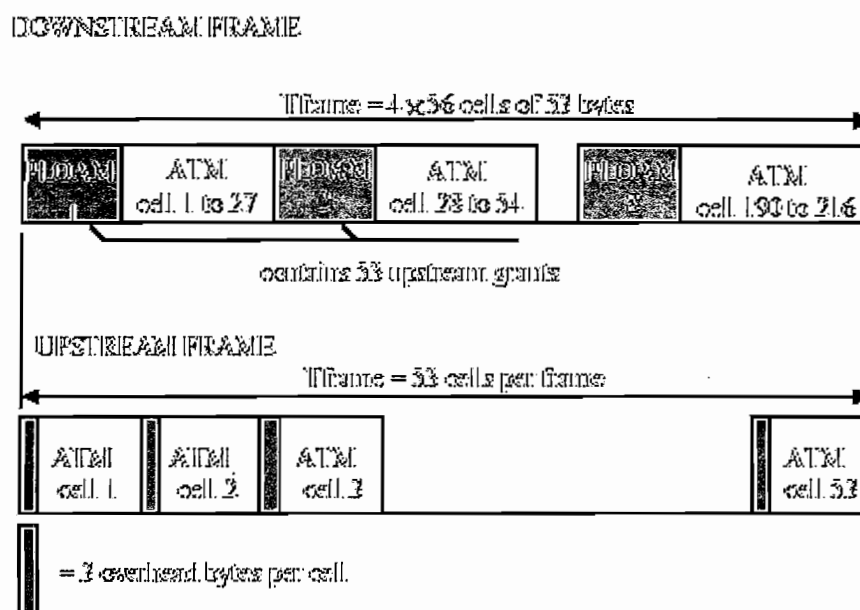


Figura 1.27. Formato de la trama APON para 622.08/155.52 Mbps <sup>[17]</sup>

### 1.6.3. TIPOS DE PONS <sup>[16][34]</sup>

El desarrollo de las redes de Telecomunicaciones ha hecho posible la presencia de redes ópticas a un costo efectivo y capaces de soportar gran variedad de servicios. En APON se opta por la tecnología ATM debido a su capacidad de integrar diferentes tipos de tráfico garantizando una determinada calidad de servicio QoS.

Se han desarrollado nuevas tecnologías manteniendo la misma topología y el mismo principio de las redes ópticas, una de estas es la tecnología EPON desarrollada por el organismo IEEE (*The Institute of Electrical and Electronics Engineers*), está basada en el protocolo Ethernet, proporciona mayor ancho de banda (1 Gbps frente a 622 Mbps), no hace uso de la conversión requerida en ATM simplificando el diseño de la ONU traduciéndose en un abaratamiento de costos, su aplicación se limita a la transmisión de datos frente a la tecnología ATM que ofrece integración de servicios con alto grado de QoS. También surge la tecnología GPON (*Gigabit PON*) con capacidades superiores a los 1244 Mbps cuya recomendación de la ITU-T es G.984.1.

El uso de una determinada tecnología para redes pasivas ópticas dependerá en gran parte de los requerimientos del usuario.

A continuación se presenta una tabla con las principales características de las tecnologías PON disponibles.

TIPO	APON (ATM-Based PON)	BPON (Broadband PON)	GPON (Gigabit-Capable PON)		EPON (Ethernet PON)
<b>Protocolo</b>	ATM	ATM	ATM	ATM y GEM <sup>20</sup>	Ethernet+FEC <sup>21</sup>
<b>Estándar</b>	ITU-T G.983.1 (Incluye Reforma 1)	ITU-T G.983.3	ITU-T G.983.1 (Reforma 2)	ITU-T G.984	IEEE 802.3ah
<b>Arquitectura</b>	Simétrica: FTTCab/B/C/H Asimétrica: FTTCab/B/C	Simétrica: FTTCab/B/C/H Asimétrica: FTTCab/B/C	Simétrica: FTTCab/B/C/H Asimétrica: FTTCab/B/C	Simétrica: FTTCab/B/C/H para MDU (Multidwelling Units); FTTB para empresas Asimétrica: FTTCab/C/H/B-MDU	1000BASE-PX10  1000BASE-PX20
<b>Servicios</b>	Servicios de Telecomunicaciones para empresas, Teleconsultas, etc: Simétricas FTTCab/C/H/B  Servicios de Difusión Digital, Video bajo demanda, Internet, Educación a distancia, etc: Asimétricas FTTCab/C/H/B  Voz: FTTCab/C/H/B	Voz/Datos/Video/ ADS (Additional Digital Services)/ Servicios Futuros	Voz/Datos	Difusión de contenido, E-mailing, Intercambio de archivos, Educación a distancia, Telemedicina, Juegos en línea, etc: Simétrica FTTCab/C/H/B-MDU/ Business  Servicios de Difusión Digital, Video sobre demanda, Descarga de archivos, etc: Asimétricas FTTCab/C/H/B-MDU Voz: FTTCab/C/H/B-MDU/Business Línea Privada de negocios: FTTB-Business	Voz/Datos/Video

<sup>20</sup> GEM: Método GPON Encapsulado

<sup>21</sup> FEC: Método de corrección de errores (*Forward Error Correction*)

TIPO	APON (ATM-Based PON)	BPON (Broadband PON)	GPON (Gigabit-Capable PON)		EPON (Ethernet PON)
				xDSL; FTTCab/C	
<b>Tipo de Fibra</b>	ITU-T G.652 (Fibra Única o Dual)	ITU-T G.652 (Fibra Única)	ITU-T G.652 (Fibra Única o Dual)	ITU-T G.652 (Fibra Única o Dual)	1000BASE-PX10; Única 1000BASE-PX20; Dual (El tipo de fibra no ha sido especificado)
<b>Máxima distancia física (ONT-OLT)</b>	20 Km	20 Km	20 Km	10 Km (Diodos Láser FP <sup>22</sup> para 1244.16 Mbps y superiores)  20 Km	1000BASE-PX10: 10 Km  1000BASE-PX20: 20 Km
<b>Split Ratio<sup>23</sup></b>	Hasta 32	Hasta 32	Hasta 32	Hasta 64 (real) Hasta 128 (considerado)	1:16 Hasta 32
<b>Banda de Longitud de onda</b>	Fibra Única: Downstream: 1480-1580 nm Upstream: 1260-1360 nm  Fibra Dual: 1260-1360 nm	Upstream: 1260-1360 nm Upstream and/or Downstream: Banda de longitud de onda intermedia: 1360-1480 nm (para uso futuro) Banda de Longitud de Onda de 1.5 um: Banda Básica : 1480-1500 nm Banda Mejorada: a) 1539-1565 nm (ADS) b) 1550-1560 nm (Servicio de distribución de video)	Fibra Única: Downstream: 1480-1580 nm Upstream:1260-1360 nm  Fibra Dual: 1260-1360 nm	Fibra Única: Downstream:1480-1500 nm Upstream: 1260-1360 nm  Fibra Dual: 1260-1360 nm	1000BASE-PX10: Downstream: 1490 nm + PIN <sup>24</sup> Rx; Upstream: 1300 nm (FP de bajo costo y Rx PIN)  1000BASE-PX20: Downstream: 1490 nm + APD <sup>25</sup> Rx; Upstream: 1300 nm (DFB <sup>26</sup> + Rx PIN)

<sup>22</sup> FP: Fabry-Perot (diodos láser)

<sup>23</sup> Puertos del *splitter*

<sup>24</sup> PIN: *Positive-Insulator-Negative* (detector)

<sup>25</sup> APD: *Avalanche Photo Diode* (detector)

<sup>26</sup> DFB: *Distributed – Feedback* (láser)

TIPO	APON (ATM-Based PON)	BPON (Broadband PON)	GPON (Gigabit-Capable PON)	EPON (Ethernet PON)	
<b>Velocidad de datos</b>	<p>Simétrica: 155.52/622.08 Mb/s</p> <p>Asimétrica: Downstream: 622.08 Mb/s Upstream: 155.52 Mb/s</p>	<p>Simétrica: 155.52/622.08 Mb/s</p> <p>Asimétrica: Downstream: 622.08 Mb/s Upstream: 155.52 Mb/s</p>	<p>Simétrica: 155.52/622.08 Mb/s</p> <p>Asimétrica: Downstream: 622.08/1244.16 Mb/s Upstream: 155.52/622.08/1244.16 Mb/s</p>	<p>Simétrica: 1244.16/2488.32 Mb/s</p> <p>Asimétrica: Downstream: 1244.16/2488.32 Mb/s Upstream: 155.52/622.08/1244.16 Mb/s</p>	<p>Simétrica: 1.25 Gb/s</p>

Tabla 1.4. Arquitecturas PON disponibles <sup>[16]</sup>

### 1.6.4. ARQUITECTURA FTTX PON

Hay diferentes arquitecturas para conectar suscriptores a la PON. La más simple usa un único *splitter* (ver figura 1.28), sin embargo pueden ser usados múltiples *splitters* tal como muestra la figura 1.29.

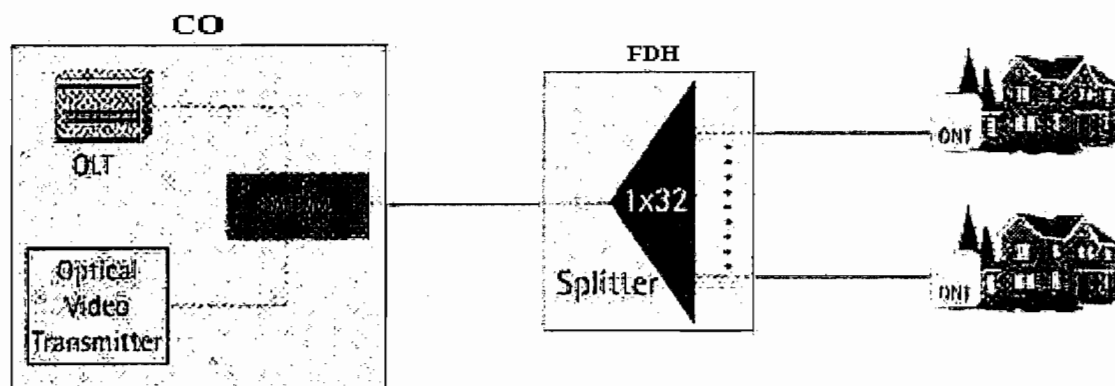


Figura 1.28. Arquitectura de red PON con un solo *splitter* <sup>[16]</sup>

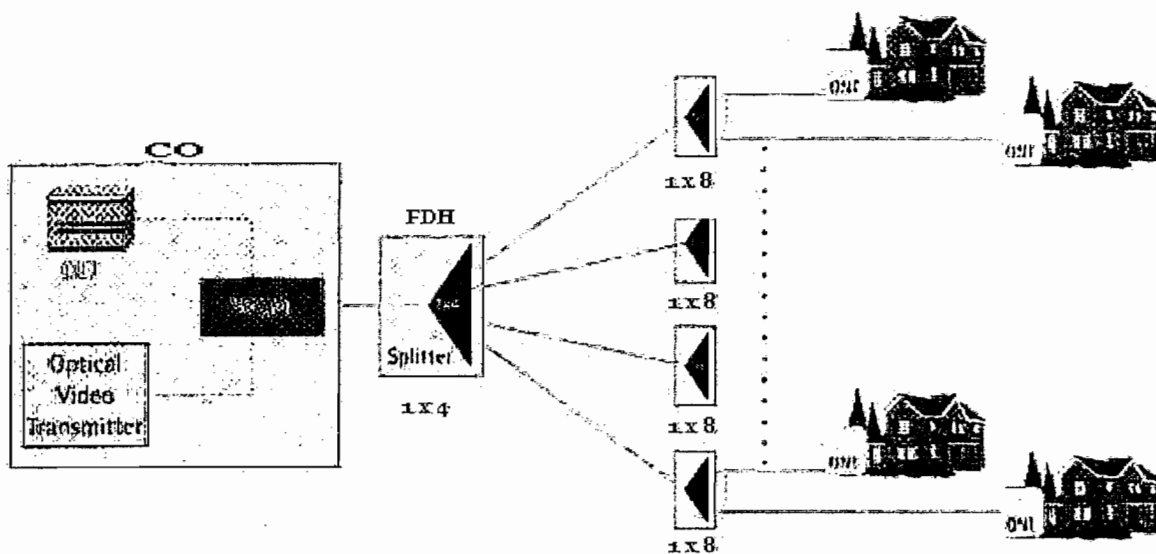


Figura 1.29. Arquitectura de una red PON con múltiples *splitters* <sup>[16]</sup>



El uso de una determinada arquitectura va a depender de la densidad y localización de los usuarios, la arquitectura con un solo *splitter* de *split ratio* 1x32 se utiliza en zonas más densas, además de esta forma se introduce menos pérdidas en la red, las pérdidas por puerto se indican en la tabla 2.5.

Las topologías de red utilizadas en redes PON presentan configuraciones tales como estrella, anillo y bus, como se muestra en la figura 1.30.

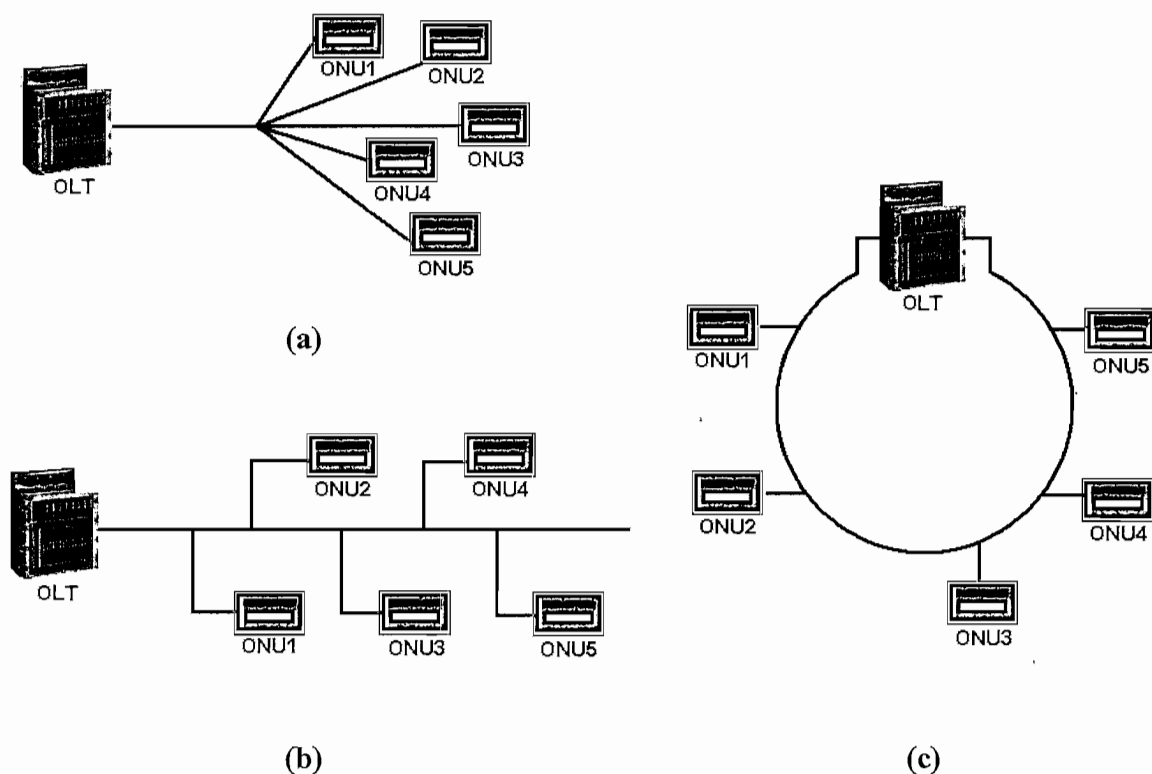


Figura 1.30. (a) Topología estrella (b) Topología bus (c) Topología anillo <sup>[16]</sup>

La topología en estrella presenta ciertas ventajas con respecto a las otras expuestas en la figura 1.30, se adapta de mejor manera al campo de trabajo y permite expansión de manera más eficiente.

En algunos casos puede no ser necesario llevar la fibra directamente hasta la propiedad de cada suscriptor en la red. La fibra es llevada al punto terminal ONU,

y enlaces cortos basados en cobre (típicamente VDSL, el cual provee suficiente ancho de banda para servicios de voz, video y datos sobre distancias cortas) son usados para la conexión final, para esto se emplea una arquitectura FTTC. Una única PON puede usar una combinación de FTTH, FTTC y otros tipos de conexiones. En la figura 1.31 se muestra una red PON que usa varias topologías FTTx.

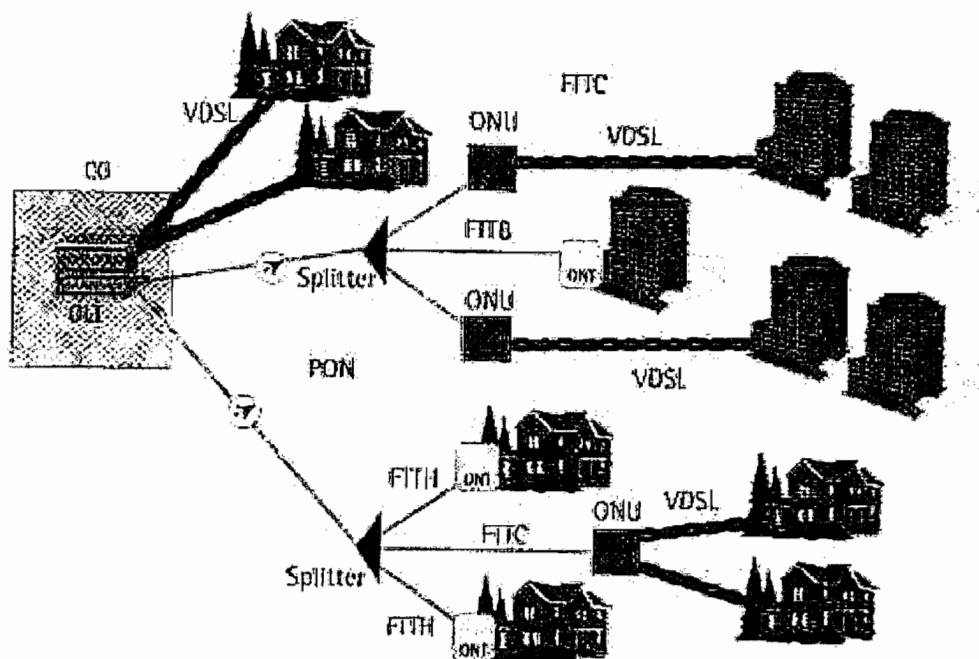


Figura 1.31. Red PON mixta <sup>[16]</sup>

### 1.6.5. RED DE DISTRIBUCIÓN ÓPTICA APON

El equipo de planta externa consiste de equipo y componentes localizados entre la CO y la propiedad del cliente. Esto incluye ambos componentes de la red tanto ópticos como no ópticos. Los componentes ópticos constituyen la red de distribución óptica ODN (*Optical Distribution Network*) e incluye los cables de fibra óptica, *patchcords* del acoplador WDM, empalmes, conectores, *splitters* y terminales *drop*<sup>27</sup>. Los componentes no ópticos incluyen pedestales, terminaciones de empalmes, *patch panels* y diversos tipos de hardware.

<sup>27</sup> El terminal *drop* es el último elemento pasivo de la red óptica antes de llegar al equipo del usuario

El equipo que conforma la red de distribución óptica incluye lo siguiente:

- Unidades de distribución de la fibra en la CO (o *patch panels*)
- Cables de fibra óptica. Los cables de alimentación forman el segmento entre la CO y el primer *splitter*. Fibras de distribución unen al *splitter* con los terminales *drop* cerca de los usuarios. Cables *drop* conectan los ONTs individuales al terminal *drop*.
- Los centros de distribución de fibra que incluyen:
  - Armarios, pedestales, protecciones de empalmes (aéreo o bajo tierra)
  - *Splitter(s)*
  - *Patch panel(s)*
  - Elementos de manejo de la fibra
- Terminales *drop*
- Conectores: SC/APC (*Angled polished Connector*, 8° de inclinación sobre la férula reduce las reflexiones)

A causa de la *dispersión de Rayleigh*, pérdidas por curvaturas, etc. Los cables de fibra óptica introducen pérdidas de la señal proporcionales a su longitud, en la figura 1.32 se presenta los valores aproximados de atenuación de la fibra óptica para distintos valores de longitud de onda.

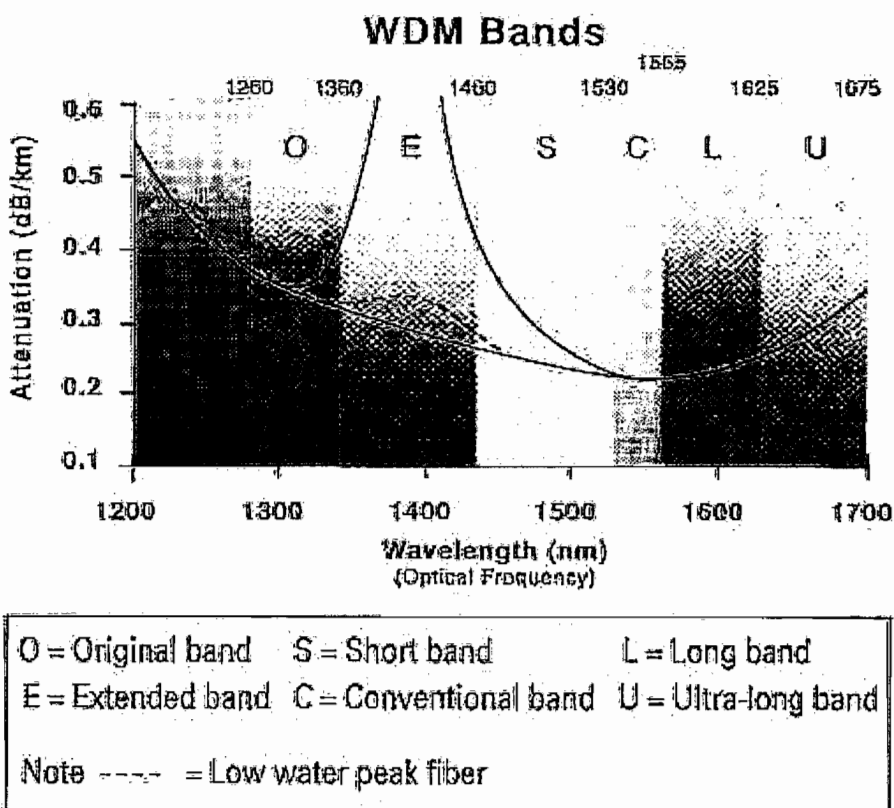


Figura 1.32. Atenuación espectral <sup>[16]</sup>

### 1.6.5.1. Splitters

El dispositivo óptico de derivación o ramificación usado en PON es llamado *splitter*, el cual tiene un puerto de entrada y múltiples puertos de salida. La señal óptica descendente es dividida entre los puertos de salida, permitiendo a múltiples usuarios compartir una única fibra óptica y consecuentemente el ancho de banda. En la dirección ascendente, las señales ópticas son combinadas desde un número de ONTs en una única fibra.

Los *splitters* son dispositivos pasivos ya que ellos no requieren fuentes de energía externa adicionales al haz de luz incidente. Ellos son de banda ancha y únicamente añaden pérdidas, principalmente debido al efecto de que ellos dividen la potencia de entrada descendente. Esta pérdida, llamada "pérdida del *splitter*" o "*splitting ratio*", está usualmente expresada en dB y depende principalmente del número de puertos de salida, como se muestra en la tabla 1.5

Número de Puertos	Pérdidas del Splitter (dB) (excluyendo conectores)
2	3
4	6
8	9
16	12
32	15
64	18

Tabla 1.5. Pérdidas *Splitter* <sup>[16]</sup>

Podría haber un *splitter* o algunos *splitters* en cascada en una red FTTx dependiendo de la topología de la red. La recomendación G.983 de la ITU-T actualmente permite *splits ratios* de hasta 32, mientras que la recomendación G.984, extiende la capacidad hasta 64 *splits*. Sin tener en cuenta la topología, el *splitter* debe ajustar los presupuestos de pérdidas ópticas permitidas.

Los *splitters* pueden ser organizados en diferentes formas y tamaños dependiendo de la base de la tecnología usada. Los tipos más comunes son la guía de onda planar y el acoplador de fibra FBT (*Fused-Biconic Taper*). Ambos tipos son fabricados por montaje cerrado de placa. Las figuras 1.33 y 1.34 ilustran las dos tecnologías.

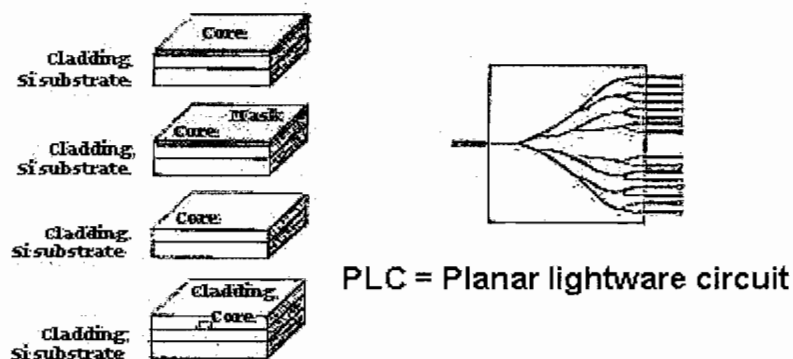


Figura 1.33. Splitter guía onda planar <sup>[16]</sup>

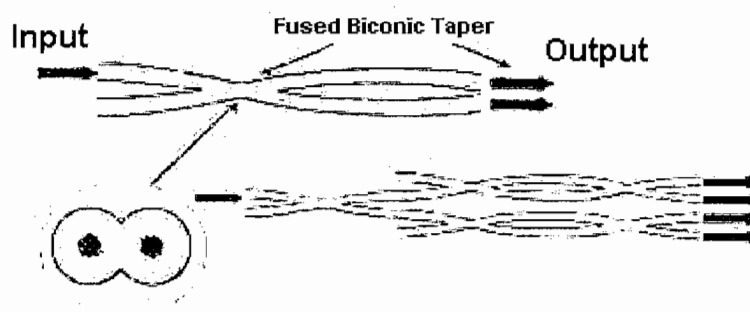


Figura 1.34. Splitter FBT <sup>[16]</sup>

### 1.6.5.2. Equipo Activo

El equipo activo incluye lo siguiente:

- El OLT (voz/transmisor de datos/receptor), localizados en la CO.
- Equipo de video (transmisor) y el amplificador EDFA usado para amplificar la señal de video antes de la transmisión a través del acoplador WDM.
- EL ONT, su fuente de poder y batería de respaldo, localizados en la propiedad del usuario.

### 1.6.6. INSTALACIÓN DE UNA RED PON <sup>[16][35]</sup>

En la arquitectura PON la planta externa está conformada por la sección de alimentación que va desde la CO hasta el primer punto de flexibilidad o *splitting*, (donde se encuentra el primer *splitter*), la sección de distribución continúa desde ese punto hasta el segundo punto de flexibilidad; y, la sección “*drop*” o de bajada es la va desde el último punto de flexibilidad hasta el usuario, la elección del cable de esta sección es más importante pues depende si se requiere llegar con fibra aérea hasta el lugar del usuario o con cable enterrado como se muestra en la figura 1.35.

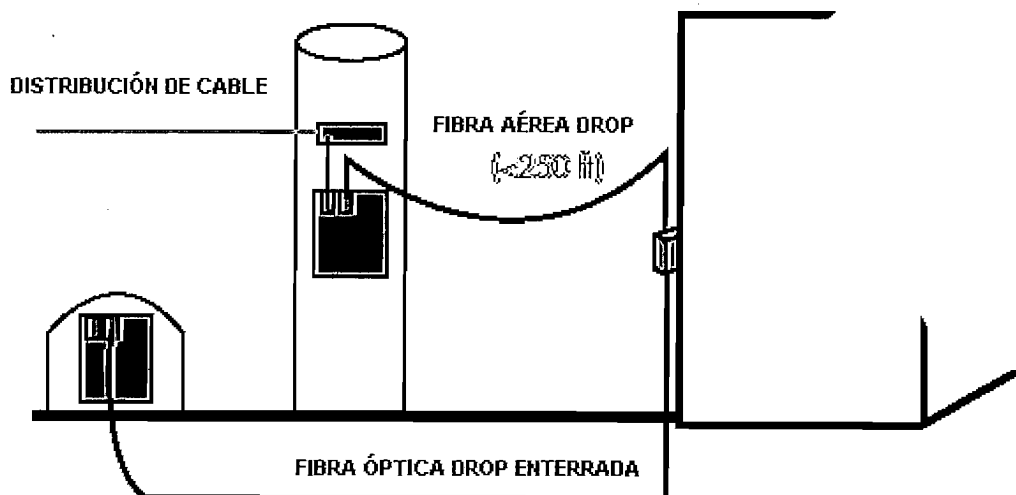


Figura 1.35. Sección “drop” en la localización del usuario <sup>[35]</sup>

La instalación del equipo de planta externa en una red FTTx puede ser llevada a cabo de muchas maneras y cada instalación podría ser diferente, dependiendo por ejemplo, de la distancia desde la CO, densidad y distribución residencial, etc. Los cables de fibra óptica pueden ser instalados usando las técnicas de instalación más apropiadas, pueden ser usadas canalizaciones ya existentes, canalizaciones nuevas, vía aérea o bajo tierra (subterránea). La utilización de una determinada ruta, la colocación de *splitters* y otros componentes pasivos, así como los tipos de pedestales o armarios usados dependerán de factores geográficos y de la topología PON a usarse.

#### a. Fibra

La instalación del cable de fibra óptica es uno de los elementos más costosos en el despliegue de las PON, como lo es en otras tecnologías de redes de fibra óptica. Algunos métodos están disponibles. La selección del método depende de varios factores incluyendo costo, derecho de vía, reglamentación, estética, etc, y si la instalación está siendo llevada a cabo sobre nuevas rutas (instalación de campo) o si son instaladas sobre rutas ya existentes. Para la instalación del cable se usan los siguientes métodos:

- El método de enterrado directo, el cable queda bajo tierra en contacto directo con la misma, esto se realiza mediante la abertura de zanjas.
- La instalación en ducto involucra la colocación del cable óptico dentro de una red de ductos bajo tierra. A pesar de que la instalación inicial en ducto es más cara que una instalación de enterrado directo, su uso es mucho más fácil para añadir o retirar cables, sin embargo pueden usarse canalizaciones ya existentes.
- Instalaciones aéreas implican la colocación del cable en postes o torres sobre la tierra. Este tipo de instalación, comúnmente es usada para llegar hasta la parte alta de un edificio, es generalmente más económica que la instalación bajo tierra y no requiere maquinaria pesada.

Para áreas densamente pobladas en donde no es posible la instalación por los 3 métodos anteriores, algunos métodos alternativos están disponibles, tales como la instalación del cable en ranuras hechas en el pavimento, dentro de desagües, dentro de tubos de alcantarillas y dentro de las tuberías de gas natural.

#### ***b. Splitters, patch panels y manejo de fibras***

Los *splitters* y *patch panels* son instalados en armarios o pedestales. El número, tipo, y colocación de los *splitters* depende del tipo de topología de red.

#### ***c. Empalmes***

Los empalmes pueden ser mecánicos o fundidos. Los empalmes mecánicos son los menos caros pero tienen una alta inserción de pérdidas (0.2 dB) y reflexiones de retorno. Los empalmes fundidos tienen muy poca pérdida (0.02 dB) y casi no hay reflexiones de retorno pero generalmente requieren un equipo de empalme-fusión caro. El número de empalmes depende de la longitud del pedazo de cable usado (las longitudes típicas son menores a 2 km, 4 km y 6 km). Los empalmes son resguardados del medio ambiente mediante protecciones cerradas para empalme.



#### *d. Terminales Drop*

Los terminales *drop* pueden ser aéreos, subterráneos o estar localizados en edificios de departamentos, dependiendo de la instalación. Los cables que bajan entre el *splitter* y las propiedades son algunas veces preconectorizados y pueden ser enterrados o montados vía aérea.

## CAPÍTULO 2.

### DISEÑO DE LA RED APON

#### 2.1. INTRODUCCIÓN

El notable aumento de usuarios de internet ha obligado a los Proveedores del Servicio de Internet (ISPs) a aumentar la capacidad de sus equipos, así como la necesidad de brindar a sus clientes mayores facilidades de acceso de éstos a la red de redes. En la actualidad los usuarios no solo buscan tener una conexión de Internet, exigen mayores velocidades y mejor calidad de servicio, muchas aplicaciones requieren mayor ancho de banda y confiabilidad en el enlace. En nuestro país se comercializa el servicio xDSL que tiene mayor demanda con respecto a otras tecnologías utilizadas, a tal punto de masificar el servicio a usuarios categorizados como "home", es decir, residenciales, con anchos de banda de hasta 128 Kbps en el canal descendente; además de varios enlaces TDM (*clear channel*), con capacidades de hasta 2048 Mbps usando E1s canalizados. Se ofrecen servicios de conmutación *Frame relay* con velocidades controladas mínimas CIR (*Committed Information rate*) y velocidad que se puede utilizar en caso de no existir congestión, velocidad máxima BIR (*Burst Information Rate*). Se ofrecen además servicios de RDSI con velocidades de hasta 128 Kbps bajo demanda. También se dispone en nuestro país de la tecnología HFC para dar a los usuarios el servicio de banda ancha, con la característica de usar un medio compartido para los usuarios.

El presente proyecto se justifica en la creciente demanda de usuarios y la necesidad de éstos por optar por mejores y gran variedad de servicios. Si bien el diseño está dirigido únicamente a usuarios que por su naturaleza requieren de mayor capacidad, un servicio ágil, confiable y que cumpla con las exigencias de un mercado competitivo que requiere de más y nuevas herramientas (usuarios corporativos), puede ser utilizado como la base para masificar el servicio a todos los usuarios en general.

En el cuadro estadístico de la figura 2.1, se puede observar la creciente aparición de ISPs en nuestro país debido a la gran demanda de usuarios; es así que, desde su aparición en el año 1997 en nuestro país, el número de usuarios de Internet ha crecido progresivamente, pudiéndose apreciar el promedio de usuarios por año en la figura 2.2, cabe mencionar que la cantidad de usuarios para el año 2004, de acuerdo a la información disponible, solo se considera hasta el mes de Septiembre. A finales del año 2001 se da la aparición de usuarios corporativos en nuestro país, en la figura 2.3 se puede apreciar el crecimiento de usuarios hasta el año 2004.

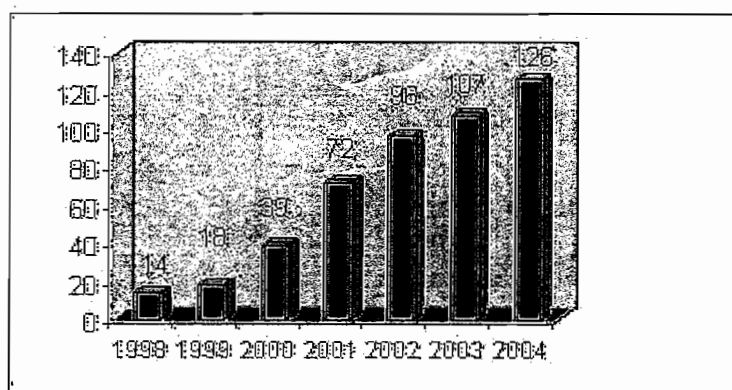


Figura 2.1. Proveedores de Internet en el Ecuador <sup>[38]</sup>

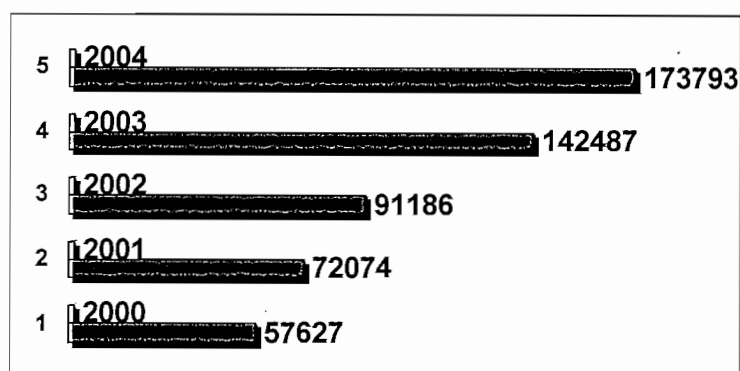
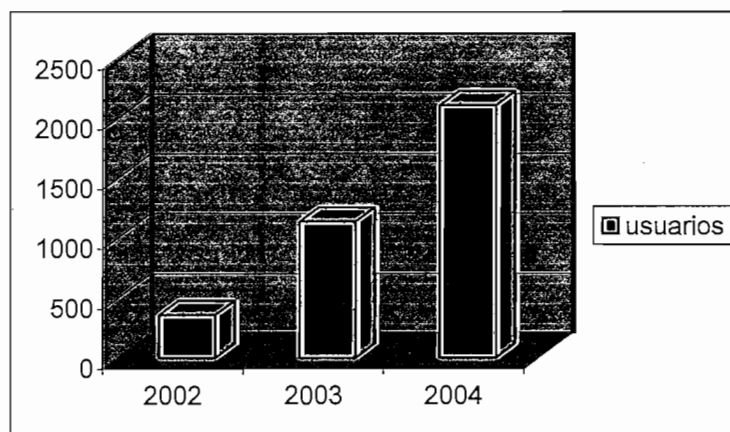


Figura 2.2. Usuarios de Internet en el Ecuador <sup>[38]</sup>

ANDINADATOS<sup>28</sup> desde su inicio de operación a finales del año 2001 registra un aumento considerable de clientes corporativos que se ve reflejado en la tabla 2.3

<sup>28</sup> ANDINADATOS es la unidad de telecomunicaciones avanzadas de ANDINATEL S.A., implementada con el fin de dar soluciones integrales en la transmisión de datos.



**Figura 2.3. Usuarios corporativos de Andinadatos<sup>29</sup>**

Ante la gran demanda de usuarios que requieren de más y mejores servicios en busca de mejores opciones de comunicación, la tecnología APON se muestra como una fuerte opción en un mercado competitivo y que usa ATM como base de su implementación para dar los servicios requeridos por los usuarios de manera confiable y con garantías de calidad de servicio.

## **2.2. RED DE FIBRA ÓPTICA DE ANDINATEL EN LA CIUDAD DE QUITO**

El diseño de la red de acceso requiere del análisis de la infraestructura de la red de fibra óptica en la ciudad de Quito<sup>29</sup> de la empresa de Telecomunicaciones ANDINATEL S.A.

La red de transporte está formada por 7 anillos de fibra los cuales se encuentran interconectados entre si, en la figura 2.4 se describen los anillos y las centrales que abarcan cada uno de ellos.

Los anillos metropolitanos están conformados de la siguiente manera:

<sup>29</sup> Información proporcionada por la Gerencia de Transmisiones de ANDINATEL S.A.

- a) **Anillo Central.-** Interconecta las centrales de Iñaquito, Mariscal Sucre y Quito Centro. Es un anillo STM-16, está conformado por cuatro fibras (4F) BLSR<sup>30</sup> (*Bidirectional Line Switched Ring*) que ofrecen protección y seguridad a la información.
- b) **Anillo Sur.-** Interconecta las centrales de Mariscal Sucre, Quito Centro, Pintado, Guamaní, Guajalo y Villa Flora. Es un anillo STM-16, 2F BLSR.
- c) **Anillo Noroeste.-** Interconecta las centrales de Iñaquito, Mariscal Sucre, Condado y Cotocollao. Es un anillo STM-16, 2F BLSR.
- d) **Anillo Valle.-** Interconecta las centrales de Villa Flora, Conocoto, Sangolquí, San Rafael, Estación Terrena, Monjas y Quito Centro. Es un anillo STM-16, 2F BLSR.
- e) **Anillo Norte.-** Interconecta las centrales de Cotocollao, Iñaquito, Carcelén y La Luz. Es un anillo STM-16, 2F BLSR.
- f) **Anillo Cumbayá.-** Interconecta las centrales de Iñaquito, Mariscal Sucre, Cumbayá y Tumbaco. Es un anillo STM-16, 2F BLSR.
- g) **Anillo Central U - Node (*Universal Nodes*)-** Este anillo interconecta las centrales de Iñaquito, Mariscal Sucre y Quito Centro. Es un anillo STM-64 2F BLSR. Este anillo es paralelo al anillo central pero parte del mismo, esta conformado por los U - Nodes<sup>31</sup>.

La figura 2.4 presenta además de los anillos metropolitanos los correspondientes a centrales ubicadas en las afueras de la ciudad. Las centrales de Mariscal Sucre, Quito Centro, Pintado, Guamaní, Guajalo, Villa Flora, Iñaquito, Condado y

<sup>30</sup> BLSR es una arquitectura de anillo que provee protección de fibras entre nodos, si la fibra entre los nodos se corta, el tráfico es ruteado automáticamente en la fibra de protección.

<sup>31</sup> Los Nodos Universales (U-Nodes) son multiplexores que ofrecen varios servicios como SDH/SONET, PDH, Giga-bit Ethernet en topologías de red flexibles como la lineal, anillo, anillo dual, anillo múltiple, etc.

Cotocollao conformaban un solo anillo (anillo secundario). Actualmente este anillo fue dividido por motivos administrativos en dos anillos, anillo Sur y anillo Noroeste.

Los anillos metropolitanos usan tecnología SDH, están conformados por multiplexores Add/Drop ubicados en cada central, la cantidad de equipos multiplexores depende de la demanda de usuarios en cada zona.

El anillo primario forma el núcleo de la red, lo conforman las centrales de Quito Centro, Mariscal Sucre e Iñaquito, siendo éstas las de mayor importancia, pues concentran la mayor cantidad de enlaces. El anillo secundario tiene la finalidad de unir a las demás centrales de Quito al núcleo de la red, mientras que los anillos terciarios se encargan de enlazar los sectores periféricos de la ciudad.

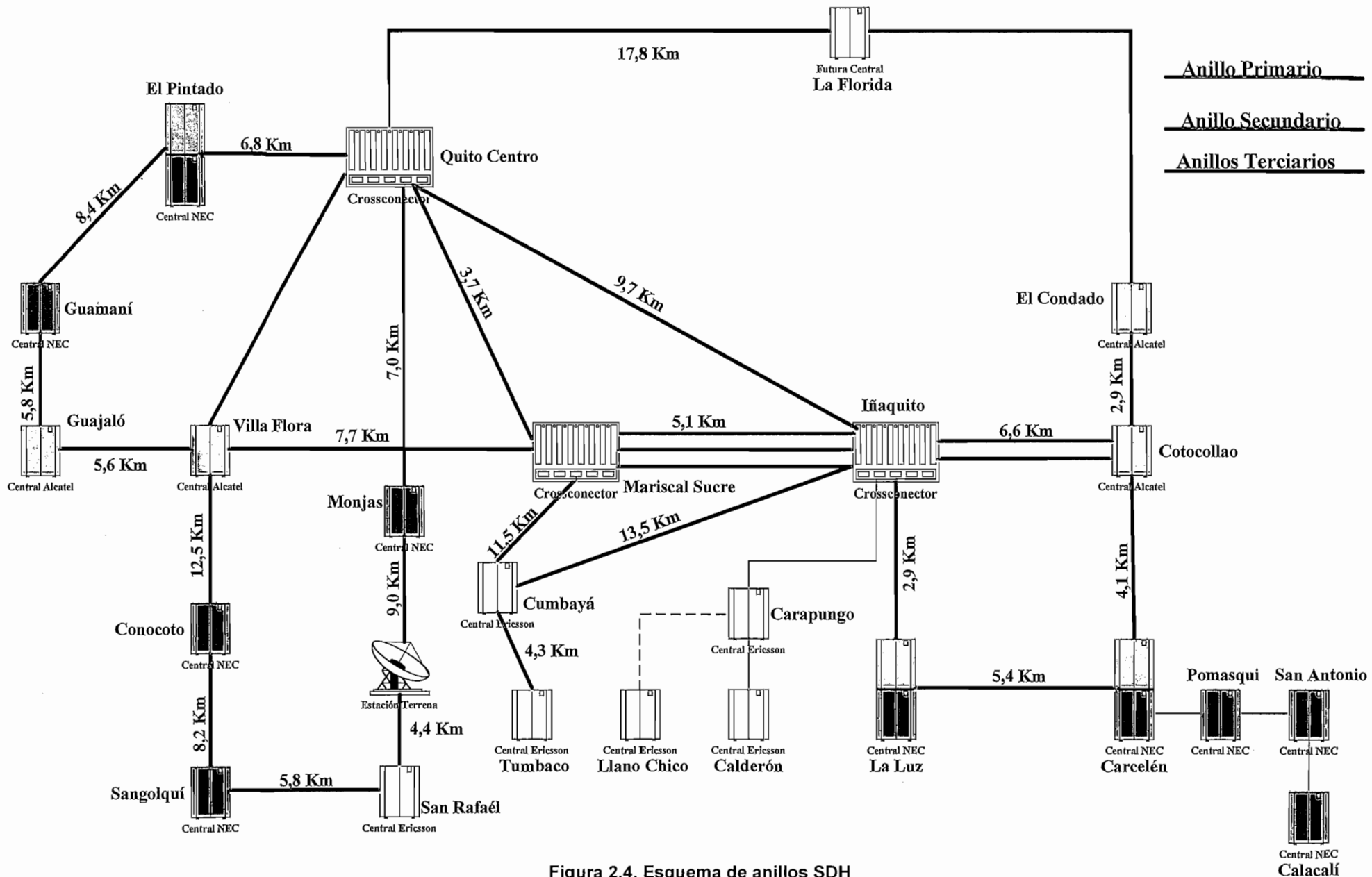


Figura 2.4. Esquema de anillos SDH

La red de nodos<sup>32</sup> de acceso está formada por 12 anillos de fibra óptica que incluyen las centrales mencionadas anteriormente, están clasificados a continuación por el fabricante (Empresa de Telecomunicaciones a la que fue adjudicada la implementación de los mismos) y éstos son:

### *1. Anillos Ericsson*

- a. **Anillo Quito Centro.-** Interconecta los nodos: San Juan, Panecillo y La Tola con la Central de Quito Centro.
- b. **Anillo Mariscal.-** Interconecta los nodos: Las Casas, Versalles, 6 de Diciembre y Floresta con la Central de Mariscal.
- c. **Anillo Villa Flora.-** Interconecta los nodos: Trole, Jhon Harman, Montúfar y Michelena con la Central Villa Flora.
- d. **Anillo Pintado.-** Interconecta los nodos: Angamarca, Sigchos, Martha Bucaram y Joaquín Ruales con la central Pintado.
- e. **Anillo monjas.-** Interconecta los nodos: Nueva Oriental y Obrero Independiente con la central Monjas.
- f. **Anillo Guajaló.-** Interconecta los nodos: Solanda, San Martín y Zumbagua con la central Guajaló.

### *2. Anillos Alcatel*

- a. **Anillo Ñaquito.-** Interconecta los nodos: La Florida, Carolina, Monteserrín y Carondelet con la central de Ñaquito.
- b. **Anillo Carcelén.-** Interconecta los nodos: Juncos y Juncuales, Coop. 29 de Abril y La Bota con la central de Carcelén.

---

<sup>32</sup> Punto de concentración de red.



- c. **Anillo Cotocollao.**- Interconecta los nodos: Parque Infantil y Flavio Alfaro con la central de Cotocollao.
- d. **Anillo La Luz.**- Interconecta los nodos: Los Fresnos y Los Nogales con la central de La Luz.
- e. **Anillo El Condado.**- Interconecta el nodo Rumihurco con la central de El Condado.

### 3. Anillos NEC

- a. **Anillo Guamaní.**- Interconecta los nodos: El Ejército, Caupicho, El Rocio, Maldonado y El Conde con la central de Guamaní.

## 2.3. PLATAFORMA DE LA RED DE DATOS DE ANDINATEL S.A.

La red de datos de ANDINATEL en la ciudad de Quito está compuesta por seis *switches* ATM que forman el *backbone* de datos y se denominan Passport (PP15K) ubicados en las siguientes centrales de ANDINATEL: Iñaquito (INQ), Mariscal Sucre (MSC), Quito centro (QCN), Carcelén (CCL), La Luz (LLZ) y Guajaló (GJL). En la figura 2.5 se puede apreciar la estructura de la red de datos.

La capacidad de tráfico entre las centrales de Mariscal e Iñaquito es mayor por la demanda de usuarios, por esa razón se utiliza un STM-4 que satisface las necesidades actuales.

El nodo de Mariscal es el “*core*” (núcleo) de la red de datos, es el más importante porque une los dos anillos, todo el tráfico pasa necesariamente por este nodo, por esta razón y por motivos de seguridad en la actualidad se ha dispuesto de un STM-1 entre el nodo de Quito centro y el nodo de Iñaquito para brindar redundancia.

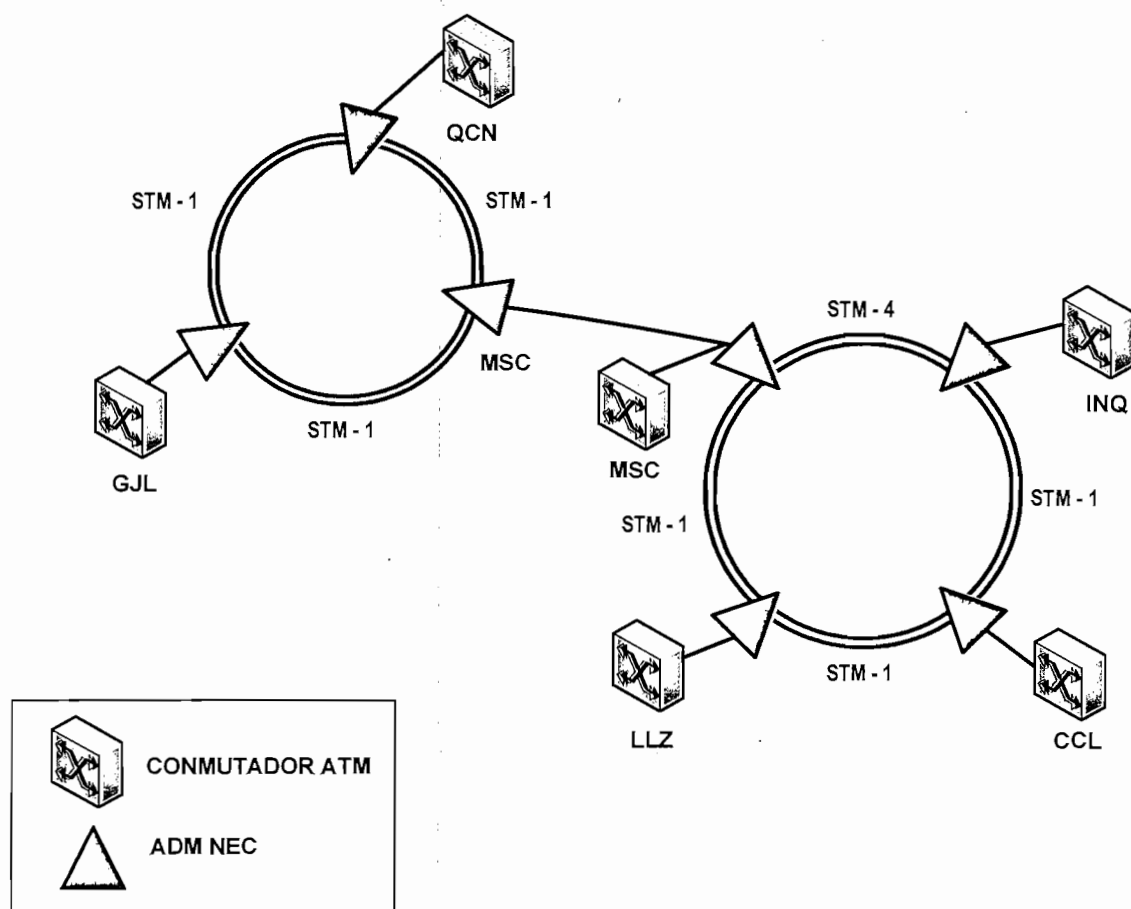


Figura 2.5. Esquema de la red de datos en el Distrito Metropolitano de Quito

## 2.4. ANALISIS DE DEMANDA DE LAS PRINCIPALES EMPRESAS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

En base al alcance del proyecto, el cual está limitado a dar servicio a un grupo determinado de usuarios que requieran de los beneficios que brindan las aplicaciones de la tecnología APON, es necesario identificar a los clientes potenciales que harán uso de los servicios prestados por la tecnología APON.

Para el efecto, primeramente se debe determinar el número de empresas más importantes existentes en el Distrito Metropolitano de Quito, ya que éstos por sus requerimientos serán los primeros beneficiarios de la red a diseñarse, para lo cual se hace uso del balance estadístico anual de las 1000 empresas más

importantes<sup>33</sup>, de las cuales 468 están ubicadas en Quito, la mayoría de éstas están ubicadas en el norte y centro de la ciudad.

En el cuadro 2.1 se presenta información del número de compañías por actividad económica en el Distrito Metropolitano de Quito el cual está dividido por administraciones zonales, se puede apreciar que las compañías están ubicadas en su mayoría en la Zona Administrativa Norte de la Ciudad de Quito.

Las Zonas administrativas de Quito son: Sur, Tumbaco, Valle de los Chillos, Calderón, La Delicia, Centro, Norte y Quitumbe. La Zona administrativa Norte contempla los sectores de Mariscal Sucre e Iñaquito entre otros.

	Sur	Tumbaco	Valle	Calderón	Delicia	Centro	Norte	Quitumbe
<b>Agricultura</b>	0	2	3	1	0	2	18	3
<b>Comercio</b>	6	1	3	11	5	3	106	1
<b>Construcción</b>	2	1	0	1	1	1	26	0
<b>Electricidad</b>	2	0	0	1	0	0	5	0
<b>Industrias</b>	8	2	6	7	11	4	72	15
<b>Minas y Canteras</b>	1	2	0	1	2	1	24	0
<b>Servicios a empresas</b>	4	1	4	3	3	5	41	0
<b>Servicios profesionales</b>	1	1	1	0	0	0	12	0
<b>Transporte</b>	0	1	0	2	0	0	24	0
<b>TOTAL</b>	<b>24</b>	<b>11</b>	<b>17</b>	<b>27</b>	<b>22</b>	<b>16</b>	<b>328</b>	<b>19</b>

**Tabla 2.1. Empresas divididas por ubicación y actividad económica al 2003** <sup>[40]</sup>

Para presentar la tabla 2.1 no se pudo obtener datos más actualizados, por esta razón se muestran valores para el año 2003.

<sup>33</sup> Información proporcionada por el Dpto. de Económicos Societarios de la Superintendencia de Compañías.

Como criterio de diseño se establece el alcance del proyecto a clientes que pertenezcan a las centrales Mariscal Sucre e Iñaquito únicamente, puesto que como se aprecia en la tabla 2.1 la mayoría de empresas están ubicadas en el sector norte de la ciudad de Quito.

## **2.5. DIMENSIONAMIENTO DE LA RED**

### **2.5.1. CONSIDERACIONES INICIALES**

Para la realización del diseño fueron considerados algunos parámetros que determinaron la necesidad del mismo, entre estos se incluyen el crecimiento de usuarios de servicios de Telecomunicaciones<sup>34</sup>, además de un estudio realizado como parte del proyecto que demuestra la necesidad por optar por más y mejores servicios como los que ofrecerá la red de acceso APON.

Para la realización de este estudio se formuló una encuesta<sup>35</sup> dirigida a empresas ubicadas en el sector de Mariscal e Iñaquito y que hacen uso de los servicios de banda ancha ofrecidos en la actualidad. Dicha encuesta es aplicada a una muestra del número total de clientes de ANDINADATOS en las centrales ya mencionadas.

Para determinar el tamaño de la muestra se hace uso del método de muestreo aleatorio simple, se toma como población la cantidad de clientes corporativos hasta diciembre del 2004, este valor es de 11599 cuentas, los posibles usuarios de la red PON son las empresas ubicadas en la zona administrativa norte en donde se encuentra ubicado en su mayoría el sector empresarial de Quito y son 328 empresas<sup>36</sup>.

Los parámetros considerados para la aplicación del método fueron: margen de error del 5% y nivel de confiabilidad del 96%. La muestra se obtendrá con la aplicación de las siguientes ecuaciones:

---

<sup>34</sup> Referirse a la sección 2.1.

<sup>35</sup> Referirse al Anexo 1

<sup>36</sup> Referirse a la tabla 2.1.

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad \text{Ecuación 2.1.}$$

donde:

$$n_0 = \frac{Z^2 PQ}{E^2} \left[ 1 + \frac{2}{n_1} \right] \quad \text{Ecuación 2.2.}$$

$$P = \frac{n_1}{N} \quad \text{Ecuación 2.3.}$$

$$Q = 1 - P \quad \text{Ecuación 2.4.}$$

- Donde:
- $n$ : Tamaño de la muestra.
  - $n_0$ : Grado de Variabilidad.
  - $N$ : Número de clientes corporativos.
  - $Z$ : Constante determinada de acuerdo al valor de confianza en la tabla de distribución normal que para este caso es 1.7<sup>37</sup>.
  - $P$ : Razón de posibles usuarios de la red PON.
  - $n_1$ : Posibles usuarios de la red PON.
  - $E$ : Error.

De esta manera se obtiene un tamaño de muestra "n" de 33 empresas. Se determinaron ciertas consideraciones para escoger a las empresas a encuestar:

1. Se escogen en su mayoría empresas que tienen el servicio de última milla con ANDINADATOS, pues ellos serán los primeros beneficiarios de la red.
2. Se prefirió realizar las encuestas a empresas que tengan contratados enlaces con capacidades iguales o superiores a 128 Kbps, entre clientes

---

<sup>37</sup> Referirse al Anexo 5

que disponen del servicio xDSL simétrico y asimétrico, además de enlaces TDM.

3. Para obtener encuestas con las consideraciones mencionadas anteriormente se depende en su totalidad de la disponibilidad del cliente. Los resultados de la encuesta se muestran en el anexo 2.

### 2.5.2. PROYECCIÓN DE USUARIOS

Para determinar la capacidad requerida, se considera una proyección de usuarios para un determinado año, la proyección utilizada es a 10 años, valor que es utilizado por ANDINATEL para la realización de todos sus proyectos, además que este valor es considerado también debido al tiempo de vida útil de los equipos.

A continuación en la tabla 2.2, se presenta el número de usuarios al final de cada año, desde el año 2002 hasta finales del año 2004 en las centrales Iñaquito y Mariscal Sucre, escogidas para el dimensionamiento<sup>38</sup>, éstos constituyen posibles usuarios de la red PON, para determinar estas cantidades se escogió a clientes que tiene contratados enlaces de 128 Kbps o más. Esta información fue obtenida de las bases de clientes instalados de ANDINADATOS<sup>39</sup> y constituirá la información de partida sobre la que se realiza la proyección.

	<b>IÑAQUITO (INQ)</b>	<b>MARISCAL SUCRE (MSC)</b>
<b>2002</b>	32	43
<b>2003</b>	94	120
<b>2004</b>	184	149

**Tabla 2.2. Clientes de Andinadatos al final de cada año en las centrales de INQ y MSC**

No se consideran clientes instalados a partir del año 2001, pues ANDINADATOS como tal, empieza a operar a partir del mes de Agosto de ese año. Al graficar los

<sup>38</sup> Referirse a la sección 2.4

<sup>39</sup> Información proporcionada por el NOC (*Network Operation Center*) de ANDINADATOS

valores presentados en la tabla 2.2 se puede apreciar una tendencia aproximadamente lineal, de esta forma se puede obtener la ecuación de la recta que describa dichos valores y así realizar la proyección deseada para el número de años estimado. A continuación en las figuras 2.6 y 2.7 se puede ver gráficamente la tendencia lineal de los resultados de la tabla 2.2, tanto para los clientes de la central de Iñaquito como los de la central Mariscal respectivamente.

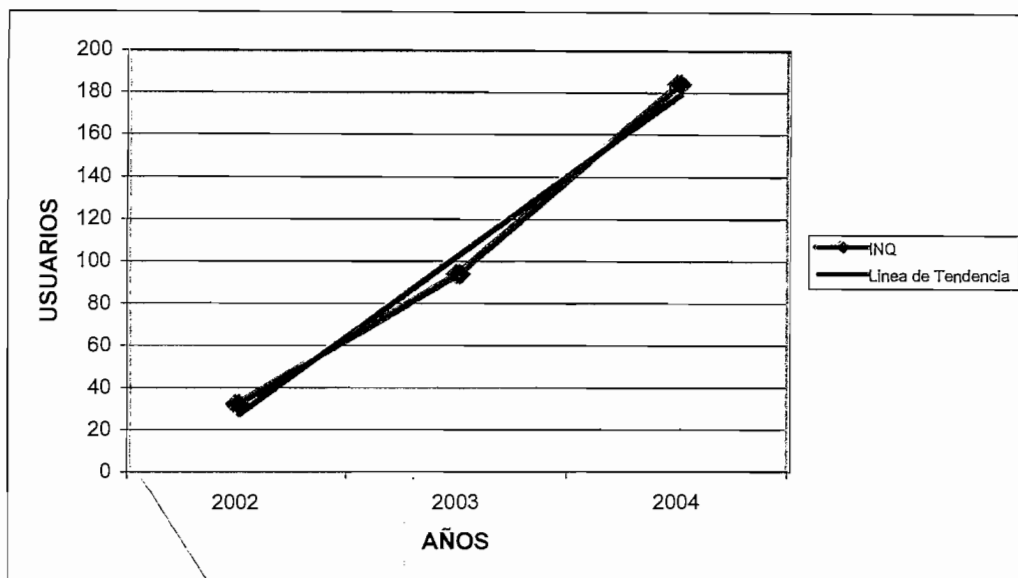


Figura 2.6. Crecimiento del número de clientes de Andinadatos en Iñaquito

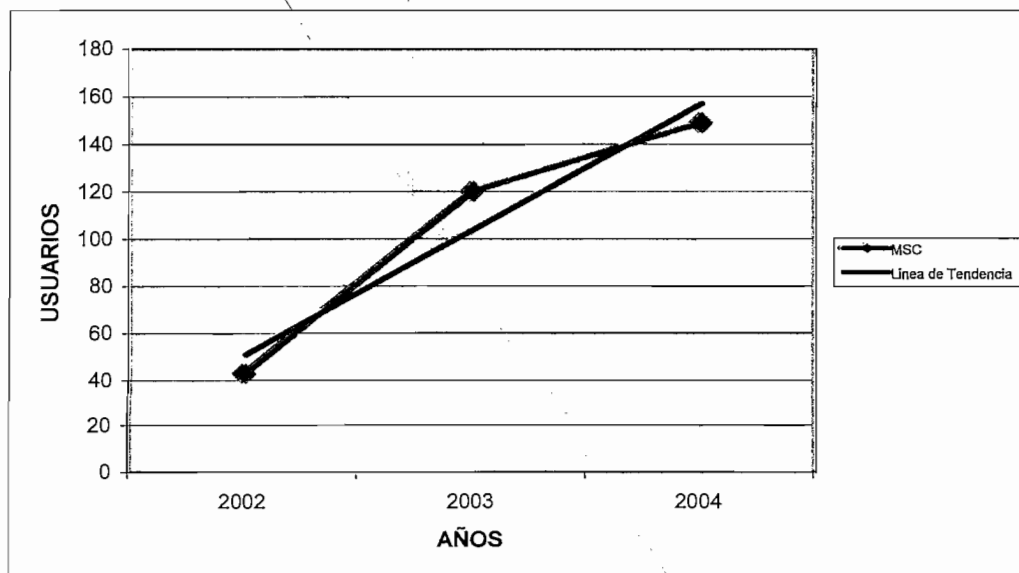


Figura 2.7. Crecimiento del número de clientes de Andinadatos en Mariscal

En las figuras 2.6 y 2.7 se aprecian de mejor manera la tendencia lineal del crecimiento de clientes que hacen uso del servicio de datos en las centrales de Iñaquito y Mariscal respectivamente. Se emplea el método de los mínimos cuadrados<sup>[10]</sup> para determinar la ecuación de la recta que describa la variación de los datos disponibles.

La ecuación tiene la forma:

$$y = ax + b \quad \text{Ecuación 2.5.}$$

Para determinar los valores "a" y "b" se hace uso de las siguientes ecuaciones:

$$\sum y = bn + a \sum x \quad \text{Ecuación 2.6.}$$

$$\sum xy = b \sum x + a \sum x^2 \quad \text{Ecuación 2.7.}$$

En donde "n" representa el número de datos considerados, "x" representa la variación de años y "y" son la cantidad de clientes por año.

De esta manera a partir de la resolución de las ecuaciones se obtienen los valores de a y b. Las ecuaciones de la línea de tendencia para Iñaquito y Mariscal son:

$$y = 76x - 48.667 \quad \text{Ecuación 2.8.}$$

$$y = 53x - 2 \quad \text{Ecuación 2.9.}$$

Cabe mencionar que para la aplicación del método de los mínimos cuadrados, la variación de años es considerada en pasos de uno, se toman valores desde la unidad a partir del año 2002. Con el uso de estas ecuaciones se realiza la proyección entre los años 2005 y 2014, mismos que se detallan en la tabla 2.3.



<b>Valor Referencial</b>	<b>Año</b>	<b>INQ</b>	<b>MSC</b>
1	2002	32	43
2	2003	94	120
3	2004	184	149
4	2005	255	210
5	2006	331	263
6	2007	407	316
7	2008	483	369
8	2009	559	422
9	2010	635	475
10	2011	711	528
11	2012	787	581
12	2013	863	634
13	2014	939	687

**Tabla 2.3. Proyección de clientes de Andinadatos para las centrales Iñaquito y Mariscal hasta el año 2014**

Las cantidades de los valores de la tabla 2.3 en el caso de Iñaquito fueron aproximadas a su valor más próximo, ya que en su totalidad se obtenían cantidades decimales, lo que no ocurrió en el caso de los valores obtenidos para la central Mariscal.

### **2.5.3. DIMENSIONAMIENTO DE LOS NODOS**

Para dimensionar la red se hace uso de datos obtenidos en la sección 2.5.2 en donde se realiza la proyección de los clientes de ANDINADATOS correspondientes a las centrales Iñaquito y Mariscal, se estimó un tiempo de 10 años para lo cual se obtuvieron el número de clientes para el año 2014.

Para dimensionar el equipo a ser utilizado el primer año de operación de la red de acceso, se utiliza los valores obtenidos en la tabla 2.3; así para el año 2005 se tiene 255 usuarios para la central de Iñaquito y 210 usuarios para la central Mariscal Sucre, cada usuario contratará la capacidad que considere necesaria

para satisfacer sus requerimientos en cuanto a servicios de Telecomunicaciones se refiere, para realizar el dimensionamiento se considera los resultados de las encuestas para verificar cuál es el servicio de Telecomunicaciones con más demanda en el sector empresarial de Quito.

A continuación en la tabla 2.4 se presenta los porcentajes de usuarios, resultado de las encuestas, que utilizan un determinado servicio y se asume la capacidad necesaria para satisfacer esta demanda.

Servicios	Porcentaje de usuarios	Capacidad asignada
Transmisión de Datos	23.2	2 Mbps
Internet	21.6	1 Mbps
Video Conferencia	10.2	3 Mbps
VoD	4.6	

**Tabla 2.4. Asignación de Ancho de Banda en base a los resultados de las encuestas**

Para determinar el valor correspondiente a la capacidad requerida para cada usuario se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Se toma como referencia los valores de capacidad típicos de los servicios enfocados a TV y PC, estos valores se presentan en las tablas 2.5 y 2.6 respectivamente, y han sido tomados de la recomendación H.fsv-opreq.
2. Los resultados de las encuestas determinan a la transmisión de datos y al *Internet* como los servicios de Telecomunicaciones más demandados por el sector empresarial de Quito. Las aplicaciones de video no son muy requeridas, por esta razón se asigna una capacidad de 3 Mbps suficientes para dar servicios de video bajo demanda (2 a 6 Mbps), video conferencia (hasta 2 Mbps), *pay per view* (2 a 6 Mbps) y *broadcast TV* (3 a 6 Mbps) <sup>[18]</sup>. No se prevé la necesidad de asignar capacidades como las requeridas en servicios como por ejemplo: HDTV (*High Definition TeleVision*) que

requiere una capacidad de hasta 19 Mbps <sup>[18]</sup>. Sin embargo, el usuario puede solicitar el ancho de banda deseado, esto depende de la capacidad disponible en los equipos utilizados en la red.

3. Se asigna una capacidad de 2 Mbps para la transmisión de datos y 1 Mbps para Internet de alta velocidad, criterios tomados en base a las encuestas y las tablas 2.5 y 2.6, las cuales hacen referencia a los anchos de banda típicos usados en un determinado servicio de Telecomunicaciones.
4. El servicio de POTS, es un servicio de telecomunicaciones básico para cualquier usuario, de manera que puede utilizar una parte del ancho de banda asignado para este servicio, el equipo ONU dispone de interfaces para POTS.

SERVICIOS ENFOCADOS A TV	CAPACIDAD (downstream)
Broadcast TV – e.g. MPEG2	3 to 6 Mb/s
High definition TV – HDTV	12 to 19 Mb/s
Pay Per View and NVOD – e.g. MPEG2	2 to 6 Mb/s
VOD – e.g. MPEG2	2 to 6 Mb/s
Navigator and EPG (can be locally launched and updated in non real time)	Less than 0.5 Mb/s
Picture In Picture – two MPEG2 channels	Up to 12 Mb/s
Picture in Browser – one MPEG2	Up to 9 Mb/s
Personal Video Recorder PVR – replay MPEG2 file off hard disk	3 to 6 Mb/s local
ITV - TV telephony features	Less than 64 kb/s
- TV browser (same as Internet access rates)	Up to 3 Mb/s
- TV e-mail (same as Internet access rates)	Up to 3 Mb/s
- TV Instant Messaging (same as Internet access rates)	Up to 3 Mb/s
- TV Chat (same as Internet access rates)	Up to 3 Mb/s
- TV on-screen notification	Less than 64 kb/s
- TV interactive games (same as Internet access rates)	Up to 3 Mb/s
- TV Audio Juke Box	Less than 128 kb/s
Video Conferencing	Up to 2 Mb/s
NOTES:	
1) expect that video compression techniques will advance to enable lower bandwidth for digital video encoding (2 to 3 Mb/s)	
2) more efficient solutions could be available	
3) satellite transmissions are using higher bit rates (up to 15 Mb/s peak), but VDSL has physical limited bandwidth, so video transrating could be required in order to allow the provision of services	

Tabla 2.5. Servicios de Telecomunicaciones enfocados a TV <sup>[18]</sup>

SERVICIOS ENFOCADOS A PC	CAPACIDAD (downstream)
High Speed Internet Access (browsing, IM, Chat, FTP, VPN access, etc)	Residential: Up to 3Mb/s SME/SOHO: Up to 6Mb/s
Server based E-Mail	As above
Live TV on PC	300 to 750 kb/s
Video on Demand	300 to 750 kb/s
Video Conferencing	300 to 750 kb/s
Interactive Games	300 to 750 kb/s
NOTES:	
1) typically asymmetrical with lower upstream rates such as 128, 256, 640 kb/s	
2) typically symmetrical service	

Tabla 2.6. Servicios de Telecomunicaciones enfocados a PC's <sup>[18]</sup>

De esta manera y utilizando los resultados de las encuestas se asigna un porcentaje de usuarios con uso exclusivo del servicio de Transmisión de datos e Internet y otro porcentaje que además de los mencionados servicios tenga adicionalmente una capacidad para la transmisión de video. Esto se asume porque en las encuestas los servicios de transmisión de datos e Internet tuvieron el mayor porcentaje de importancia<sup>40</sup>, y la transmisión de video no es un servicio contratado de forma exclusiva, las empresas que disponen de este servicio generalmente tienen además como prioridad la transmisión de datos y el servicio de Internet. La figura 2.8 muestra el porcentaje de los servicios de telecomunicaciones.

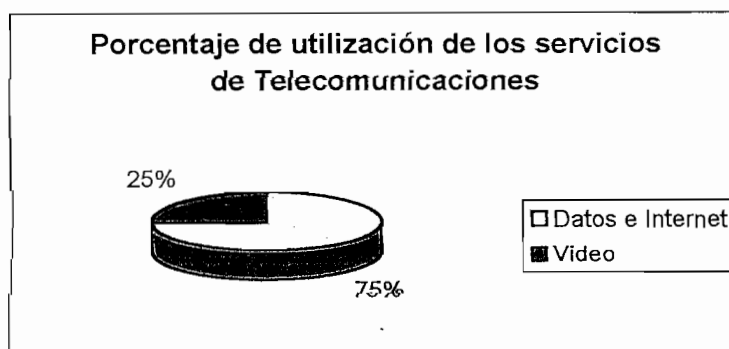


Figura 2.8. Porcentaje de utilización de los servicios de Transmisión de datos, Internet y Transmisión de video <sup>40</sup>

<sup>40</sup> Referirse al Anexo 2

Se asume el mismo porcentaje tanto para la central de Iñaquito como para la de Mariscal, puesto que la cantidad de usuarios encuestados pertenecientes a la central de Iñaquito es cercano al número de usuarios encuestados de la central de Mariscal.

En base a la capacidad por servicio total que se obtiene de multiplicar la capacidad asignada por el número de usuarios, se puede determinar la capacidad de los equipos, se considera además 3% menos en el número de usuarios debido a que esta cantidad de encuestados no optó por implementar la tecnología PON.

<b>IÑAQUITO</b>				
<b>Servicios</b>	<b>Porcentaje [%]</b>	<b>Número de Usuarios</b>	<b>Capacidad por usuario [Mbps]</b>	<b>Capacidad por servicio [Mbps]</b>
Transmisión de datos e Internet	75	185	3	555
Transmisión de datos, Internet y video	25	62	6	372
<b>TOTAL</b>	100	247	9	<b>927</b>
<b>MARISCAL</b>				
<b>Servicios</b>	<b>Porcentaje [%]</b>	<b>Número de Usuarios</b>	<b>Capacidad por usuario [Mbps]</b>	<b>Capacidad por servicio [Mbps]</b>
Transmisión de datos e Internet	75	152	3	456
Transmisión de datos, Internet y video	25	53	6	318
<b>TOTAL</b>	100	205	9	<b>774</b>

**Tabla 2.7. Establecimiento del Ancho de Banda Total para los usuarios de Iñaquito y Mariscal al primer año de operación.**

Por facilidad de cálculo, el valor obtenido de la capacidad por servicio total en la tabla 2.7 es elevado a su cantidad superior ya que se obtuvo un resultado con decimales.

— 0 —

La red APON puede trabajar a 155.52 Mbps simétrico para FTTCab/B/C/H, y en modo asimétrico a 155.52 Mbps en sentido ascendente y a 622.08 Mbps en sentido descendente para FTTCab/B/C. El diseño no considera la instalación para clientes *home*, aunque a futuro y por la demanda de usuarios posiblemente se haga este tipo de instalaciones. Para el diseño se asignó una capacidad de 622.08 Mbps, este valor se considera por la demanda de usuarios existente y por los requerimientos de la red, además el conmutador ATM al cual se unirá el OLT tiene capacidad máxima de STM-4.

↗

El OLT (*Optical Line Terminal*) está ubicado en la CO, el equipo OLT se interconectará con la red de transporte a través de los *switchs* ATM ya existentes en el *backbone* de la red de datos de ANDINATEL. El *passport 15000* es el equipo utilizado como conmutador ATM, éste se unirá al OLT a través de un STM-4 (622 Mbps).

Los equipos escogidos corresponden al sistema: “*Soluciones 7340 FTTU*”, de la empresa ALCATEL, las características y la justificación de la utilización de los mismos se presentan en la sección 2.6.1.

Las tarjetas de interfaz PON constan de 2 puertos, con capacidad de 32 usuarios por PON, es decir, cada tarjeta instalada en el *chassis* dará servicio a 64 usuarios. En la central de Ñaquito al primer año de operación se tiene 255<sup>41</sup> usuarios, como cada tarjeta tiene capacidad de 64 usuarios, entonces serán necesarias 4 tarjetas de interfaz PON. Para dar el ancho de banda necesario a cada usuario, se toma los valores obtenidos de la tabla 2.7; de esta manera, para dar 927<sup>42</sup> Mbps de capacidad total serán necesarias 2 tarjetas de interfaz STM-4 con capacidad cada

<sup>41</sup> Referirse a la tabla 2.3.

<sup>42</sup> Referirse a la tabla 2.7.

una de 622 Mbps. Este número de tarjetas pueden ser incorporadas en un solo *chassis* según las características del fabricante.

De manera similar se procede para la central de Mariscal, al primer año de operación se tiene 210<sup>41</sup> usuarios, para lo cual serán necesarias 4 tarjetas de interfaz PON que tienen capacidad de 64 usuarios cada una. Para dar 774<sup>42</sup> Mbps de capacidad serán necesarias 2 tarjetas de interfaz STM-4 con capacidad cada una de 622 Mbps.

El equipamiento para el primer año de operación para las dos centrales se indica en la tabla 2.8.

<b>Central</b>	<b>OLT (chassis)</b>	<b>Tarjetas de Interfaz PON</b>	<b>Tarjetas de Interfaz STM-4</b>
<b>IÑAQUITO</b>	1	4	2
<b>MARISCAL</b>	1	4	2
<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>4</b>

**Tabla 2.8. Equipamiento de la CO para el primer año de operación.**

La cantidad de equipos necesarios para satisfacer la demanda en el primer año de operación son iguales para las dos centrales, sin embargo, la central de Mariscal dispone aún de capacidad para incrementar usuarios al OLT, mientras que en Iñaquito se requiere de otra tarjeta de Interfaz PON para aumentar usuarios en la red.

Los requerimientos de servicios para los usuarios en 10 de años de proyección serán diferentes, esto lo demuestra los crecientes avances de la tecnología y la necesidad del hombre por adquirir más y mejores productos en el ámbito tecnológico; sin embargo, se asume como criterio que no se va a requerir más de 10 Mbps por un solo servicio, como el caso crítico de HDTV que requiere una

capacidad mínima de 12 Mbps. Este servicio que en otros países tiene gran demanda, en el Ecuador no es comercializado.

Tomando en cuenta las capacidades de los servicios expuestos en las tablas 2.5 y 2.6 y la creciente demanda de servicios de banda ancha se asume las siguientes capacidades para la utilización en 10 años de operación de la red.

<b>Servicios</b>	<b>Capacidad asignada</b>
<b>Transmisión de Datos</b>	3 Mbps
<b>Internet</b>	2 Mbps
<b>Video Conferencia</b>	4 Mbps
<b>VoD</b>	

**Tabla 2.9. Asignación de la capacidad en base a criterios de diseño.**

Para determinar la capacidad necesaria estimada para los 10 años de operación de la red, se basa el cálculo de igual forma que el primer año de operación, cabe resaltar que esto solo es una aproximación, ya que el usuario en la práctica contratará el servicio que se acomode a sus necesidades.

<b>IÑAQUITO</b>				
<b>Servicios</b>	<b>Porcentaje [%]</b>	<b>Número de Usuarios</b>	<b>Capacidad por usuario [Mbps]</b>	<b>Capacidad por servicio [Mbps]</b>
<b>Transmisión de datos e Internet</b>	75	704	5	3520
<b>Transmisión de datos, Internet y video</b>	25	235	9	2115
<b>TOTAL</b>	100	939	14	<b>5635</b>



<b>MARISCAL</b>				
<b>Servicios</b>	<b>Porcentaje [%]</b>	<b>Número de Usuarios</b>	<b>Capacidad por usuario [Mbps]</b>	<b>Capacidad por servicio [Mbps]</b>
<b>Transmisión de datos e Internet</b>	75	515	5	2575
<b>Transmisión de datos, Internet y video</b>	25	172	9	1548
<b>TOTAL</b>	100	687	14	<b>4123</b>

**Tabla 2.10. Establecimiento del Ancho de Banda Total para los usuarios de Iñaquito y Mariscal en el año 10 de operación.**

Se asume el mismo porcentaje de utilización del ancho de banda, 75 % para transmisión de datos e Internet y 25% para transmisión de datos, Internet y transmisión de video ya que no se estima un cambio significativo de los servicios de video a 10 años de operación del sistema, además los servicios de transmisión de datos e Internet también requerirán de más prioridad y tendrán de igual forma mayor demanda a futuro. En base a la tabla 2.10, la demanda de equipamiento para el décimo año de operación de la red se observa en la tabla 2.11.

<b>Central</b>	<b>OLT (chassis)</b>	<b>Tarjetas de Interfaz PON</b>	<b>Tarjetas de Interfaz STM-4</b>
<b>IÑAQUITO</b>	2	15	10
<b>MARISCAL</b>	1	11	7
<b>TOTAL</b>	<b>3</b>	<b>26</b>	<b>17</b>

**Tabla 2.11. Equipamiento de la CO para el año 10 de operación (2014).**

De la misma forma que en el primer año de operación se obtiene el equipamiento para el año 2014, estos equipos serán adquiridos según el requerimiento de expansión de usuarios.

#### 2.5.4. DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ÓPTICA

La planta externa de la red PON utiliza topología tipo estrella, esto se debe a que ésta topología se adapta de mejor manera a las no linealidades de los canales de afluencia, tales como: calles, avenidas, etc; presentes típicamente en una ciudad o región urbana. Además, la topología en anillo que es otra posibilidad de despliegue de la planta externa, no brinda redundancia.

La utilización de una determinada arquitectura, como la que consta de un solo *splitter* o la arquitectura usando varios *splitters*, depende de ciertas consideraciones específicas de diseño para el área de servicio, tales como:

- Densidad de usuarios
- Proximidad física
- Impactos operacionales

El uso de *splitters* 1x32 provee una combinación más favorable de la eficiencia del OLT, disminución en los costos de planta externa y simplicidad operacional, en algunos casos, con escenarios densos y por la proximidad del usuario, se usa arquitectura "homerun", en donde el *splitter* está junto al OLT en la oficina central.

Para el caso del Distrito Metropolitano de Quito, en los sectores que cubren las centrales de Lñaquito y Mariscal Sucre específicamente, se tiene la mayor densidad de usuarios corporativos, pero con ciertas diferencias en la distribución de éstos en el área de cobertura de dichas centrales, es así que, en Mariscal se tiene usuarios de Banda Ancha distribuidos en su mayoría uniformemente en el área limitada por la Av. 12 de Octubre al Oriente, Av. América al Occidente y el límite de la zona de cobertura de Lñaquito al Norte.

En este caso se usará *splitters* con *split ratio* de 1x32, pues utilizar más divisiones, es decir, utilizar una arquitectura con múltiples *splitters* no se justifica para una zona densa con proximidad de usuarios y la utilización de varios *splitters* en una sola PON únicamente agrega pérdidas. Puede usarse arquitectura

“homerun” pues el radio de cobertura de la central es de aproximadamente 2 Km<sup>43</sup>.

El caso del sector de Iñaquito es diferente, pues los usuarios potenciales se concentran en sitios específicos, generalmente son edificios de negocios que agrupan a importantes empresas del sector productivo del país. En su mayoría se encuentran ubicados en los alrededores del parque La Carolina y en el sector de la Av. Amazonas entre la Av. Naciones Unidas y la calle Río Coca, además de pequeñas afluencias en las cercanías, es decir, hay pocos usuarios de banda ancha distribuidos en la zona de cobertura de la central de Iñaquito.

Puede ser utilizada una arquitectura con varios *splitters*, para llegar a un grupo de usuarios específicos, pero se mantiene para el diseño el criterio de usar *split ratios* de 1x32, ya que la demanda de usuarios corporativos está en aumento y por la densidad de usuarios será necesario usar *split ratios* de 1x32.

La cantidad de *splitters* necesarios se indica en la tabla 2.12.

Central	Número de usuarios	Split ratio	Número de Splitters
<b>IÑAQUITO</b>	247	1x32	<b>8</b>
<b>MARISCAL</b>	203	1x32	<b>7</b>
<b>TOTAL</b>			<b>15</b>

Tabla 2.12. Número de *splitters* para el primer año de operación.

Para el año 10 la demanda de *splitters* se indica en la tabla 2.13.

<sup>43</sup> Información proporcionada por la gerencia de accesos de Andinatel S.A.

Central	Número de usuarios	Split ratio	Número de Splitters
IÑAQUITO	939	1x32	30
MARISCAL	687	1x32	22
<b>TOTAL</b>			<b>52</b>

Tabla 2.13. Número de *splitters* para el año 10 de operación.

Los *splitters* serán ubicados en armarios o pedestales ubicados en sitios estratégicos de la zona de cobertura de cada central. A continuación se indica los posibles lugares para la ubicación de los *splitters*, esto se realiza en base a los sitios donde se ubican los potenciales usuarios de la red<sup>44</sup>.

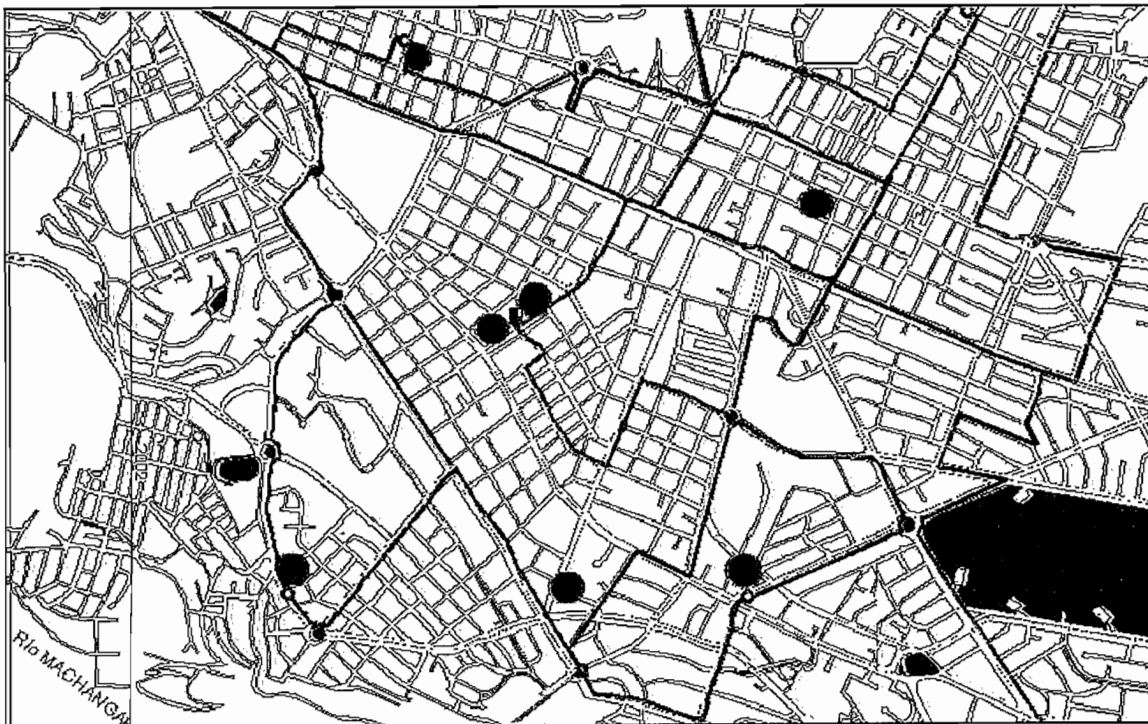


Figura 2.8. Distribución de *splitters* en la zona de cobertura de Mariscal

<sup>44</sup> Información proporcionada por el NOC (*Network Operation Center*) de ANDINADATOS.

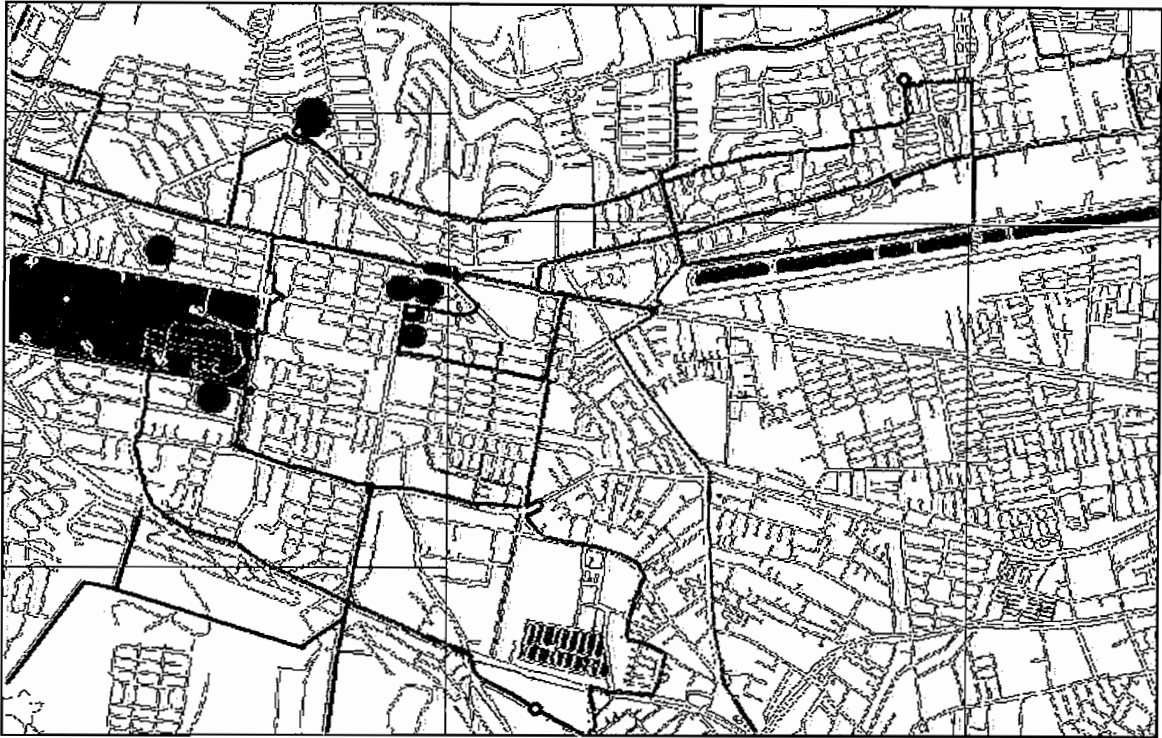


Figura 2.9. Distribución de splitters en la zona de cobertura de Iñaquito

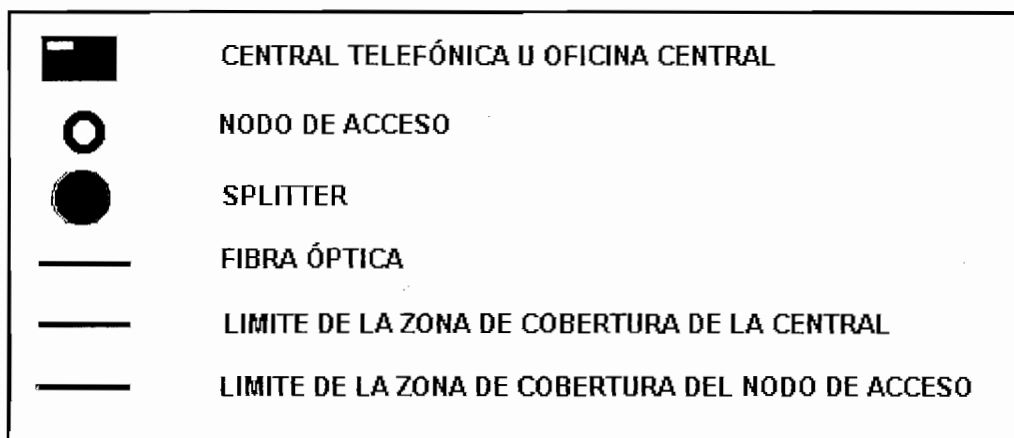


Figura 2.10. Simbología

Para la zona de cobertura de Mariscal corresponden 7 *splitters* de los cuales 2 de ellos estarán ubicados en la central de Mariscal, en arquitectura "homerun", 3 *splitters* están ubicados en los nodos Floresta, Versalles y Seis de Diciembre y 2 más serán ubicados en armarios en donde la demanda de usuarios es mayor.

Para la zona de cobertura de Iñaquito corresponden 8 splitters, 3 de los cuales estarán ubicados en la central de Iñaquito, en arquitectura "homerun", 2 splitters más se ubicarán en los nodos de La Carolina y Carondelet, los otros 3 splitters se ubicarán en armarios donde la demanda de usuarios es mayor. Cabe resaltar que la concentración de usuarios en la zona de Iñaquito está específicamente en la zona de cobertura de los nodos de La Carolina y de la central de Iñaquito.

La información de la ubicación de los clientes corporativos ha sido proporcionada por el Centro de Monitoreo de Red de ANDINADATOS.

## **2.6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA EL EQUIPAMIENTO DE LA RED APON**

Una red PON involucra los equipos en la CO, los elementos en la red de acceso (OAN) y en la red del usuario. Para determinar las características de los elementos de cada sección de la red se acude a los fabricantes especialistas en redes de acceso ópticas.

En cuanto al mercado de redes ópticas pasivas se puede encontrar gran variedad de fabricantes, desde compañías enfocadas exclusivamente en soluciones con redes ópticas pasivas tales como: Alloptic, Optical Solutions, Quantum Bridge y Teraware entre las principales. Otras son subsidiarias de compañías ya establecidas como: Ignitus (Lucent), Eluminant (NEC), Pacion (Mitsubishi) entre otras. También grandes compañías como Alcatel, ADC, Fujitsu, Ericsson, Nortel ofrecen una línea completa en soluciones para redes de acceso.

Cada fabricante ofrece un sistema PON con los requerimientos necesarios de la red de acceso, además de los equipos ubicados en la CO y en el lado de usuario, ofrecen el equipamiento necesario para la planta externa (*splitters*, *acopladores*, *racks*, etc.). A continuación en la tabla 2.14 se describen las características más relevantes de los equipos de fabricantes que tienen más aceptación y proyección en el mercado, además disponen de variadas soluciones para satisfacer las

necesidades del cliente. Cabe mencionar que estos fabricantes pueden trabajar con protocolo ATM o *Ethernet*, por esta razón no se incluyen en el análisis fabricantes como Optical Solutions o Alloptic, (de gran demanda en el mercado), pues ofrecen soluciones orientadas únicamente al protocolo *Ethernet* que no es objeto de estudio en el presente proyecto.

Fabricante	OLT	ONU	Interfaz de red	Capacidad	Servicio	Distancia
<b>Quantum Bridge</b>	QB5000 QB3000	QB622 QB155 Motorota ONT1000	ATM (OC-3c/STM-1) <sup>45</sup> ATM (OC-12c/STM-4) TDM (OC-3c/VT1.5 y DS1) <sup>46</sup> Ethernet (GbE y 10/100BaseTx)	155/622 Mbps	Datos, voz y video	20 Km
<b>Terawave</b>	TW - 600	TW - 400 TW - 300	ATM (OC-3c/STM-1) ATM (OC-12c/STM-4) TDM (OC-3c/STM-1) IP (GbE y 10/100BaseTx)	155/622 Mbps	Datos, voz y video	20 Km
<b>Alcatel</b>	7340 P-OLT 7340 V-OLT	7340 B-ONT 7340 H-ONT	OC-3c/STM-1 OC-12c/STM-4	155/622 Mbps	Datos, voz y video	20 Km

**Tabla 2.14. Características de los equipos requeridos en la red PON** <sup>[35][96][37]</sup>

<sup>45</sup> Velocidades permitidas sobre el método de transporte de alta velocidad SONET/SDH, donde OC-3c/STM-1 = 155.52 Mbps; OC-12c/STM-4 = 622.08 Mbps

<sup>46</sup> VT: Virtual Tributary, son estructuras usadas para el transporte de señales sincrónicas.



Fabricante	Interfaz de usuario	Tarjetas de Interfaz PON	Splitters por puerto PON	Densidad de usuarios	Número de fibras	Aplicación	Sistema de Gestión	Costos (Equipamiento para CO)
<b>Quantum Bridge</b>	POTS ATM (DS3/E3, DS1/E1) 10/100 BaseT Video	18	32	1024	1 / 2	FTTC/B/H	QB Vision	\$ 31497
<b>Terawave</b>	POTS ATM (DS3/E3, DS1/E1) 10/100 BaseT Video	2	32	128	1	FTTB/C	TMS (Terawave Management System)	\$22000
<b>Alcatel</b>	POTS ATM (DS1/E1) 10/100 BaseT Video	18	32	1152	1	FTTC/B/H	AMS (Access Management System)	\$ 23189

Tabla 2.14. Características de los equipos requeridos en la red PON (continuación)

Los equipos mencionados anteriormente tienen características de operación similares, pues son equipos que cumplen con el estándar FSAN y están diseñados para las mismas aplicaciones de la red de acceso; sin embargo, se tomaron las siguientes consideraciones para seleccionar el fabricante que proporcionará el equipamiento a la red:

1. Capacidad de puertos PON por *chassis*, con lo que se descarta a la empresa Terawave, pues ofrece únicamente 2 tarjetas por *chassis* con capacidad de máximo 2 puertos PON por tarjeta y no compensa en costo la baja capacidad de usuarios por *chassis*. El equipo P-OLT de Alcatel posee mayor capacidad de usuarios, 1152 comparables con 1024 de Quantum Bridge.
2. Características de funcionamiento, flexibilidad, interfaces, calidad de servicio, etc. Todos los equipos poseen similares características como se aprecia en la tabla 2.14, en lo referente a las dimensiones físicas, este tipo de equipo (OLT) tiene una superficie reducida, son de fácil instalación y pueden operar en condiciones ambientales bastante similares, en el rango de 0° C a 40° C de temperatura en todos sus casos.
1. El costo de los equipos varía como se puede apreciar en la tabla 2.14, el costo únicamente incluye el equipamiento en la oficina central, la empresa Alcatel presenta el menor costo<sup>47</sup> con respecto a las tres opciones.

Bajo estos argumentos se escogen los equipos de la empresa Alcatel para dimensionar la red pasiva ATM.

La red PON con todo el equipamiento de Alcatel forman parte del sistema: "Soluciones Alcatel 7340 FTTU", este sistema utiliza una sola fibra para conectar el equipo OLT (7340 P-OLT) en la CO con el equipo ONT (7340 B-ONT / 7340 H-ONT) en el lado del usuario. Como se describe en la sección 1.6.2 usando WDM se permite la transmisión de voz y datos en sentido descendente a 1490 nm

---

<sup>47</sup> Referirse a la tabla 2.14

usando TDM y en sentido ascendente la transmisión es a 1310 nm usando TDMA, mientras que una tercera longitud de onda (1550 nm) es usada para la transmisión de video *broadcast*, para esto se usa el equipo 7340 V-OLT, se usa un acoplador óptico para combinar las longitudes de onda y transportar los datos a través de la red de acceso.

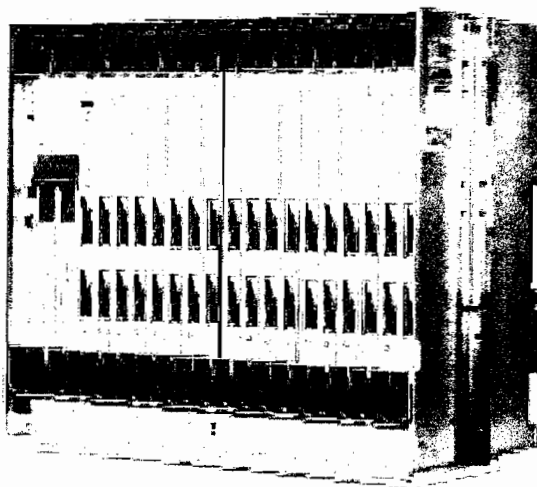


Figura 2.11. Equipo 7340 P-OLT de ALCATEL <sup>[35]</sup>

El equipo 7340 P-OLT provee agregación y funcionalidad de intercambio “*switching*” entre la red central y las interfaces PON, las opciones de interfaces de red son: ATM OC-3/STM-1, OC-12/STM-4 y *Gigabit Ethernet*. Provee Calidad de Servicio (QoS) para todos los tipos de servicio: CBR, UBR, VBR-RT, VBR-NRT. La asignación del ancho de banda se la realiza en forma dinámica, se pueden realizar actualizaciones “*upgrades*”, en forma remota.

Entre las principales características técnicas se tienen las siguientes:

### 1. Interfaces

- Hasta 36 interfaces BPON ITU-T G.983 en un *chassis* P-OLT
- 622/ 155 Mbps descendente/ascendente
- 2 terminaciones de red ATM

## 2. Capacidad

- 5 Gbps de conmutación ATM en cada tarjeta de terminación de red OC-3/STM-1 y OC-12/STM-4
- 1152 usuarios por *chassis*, 3 *chassis*es por *rack*
- 18 tarjetas PLT2 (PON *line termination*) por *chassis*
- 2 puertos PON por PLT2
- 32 ONUs por PON
- Hasta 18 tarjetas ATM OC-3/STM-1 y OC-12/STM-4 (SALT-D)
- Hasta 18 tarjetas *Gigabit Ethernet* (GELT-A)

## 3. Protocolos

- ITU-T G.983.1, sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas
- ITU-T G.983.2, especificaciones para administración de ONTs y control de interfaces para APON
- ITU-T G.983.3, especificaciones nuevas asignaciones de longitudes de onda en el sistema de acceso óptico APON
- ATM sobre SONET
- IEEE 802.3, IEEE 802.1 para interfaces *Ethernet*

## 4. Características físicas

- Altura : 22.75 in (57.79 cm)
- Ancho: 23 in (58.42 cm)
- Profundidad: 12 in (30.48 cm)

## 5. Entorno

- Temperatura de operación: 41° F a 104° F (5° C a 40° C)
- Humedad: 20% a 55%

## 6. Administración

- Alcatel 5526 AMS o Alcatel 5528 WAM
- Alcatel 5528 WAM administra hasta 50 P-OLTs

En cuanto a los elementos de la red de distribución óptica<sup>48</sup> tales como: gabinetes o armarios para conexión de *splitters*, acopladores, *splice panels*, etc; varios fabricantes exponen gran variedad de productos, Alcatel también proporciona soluciones de red de distribución y se trabaja con los proporcionados por la empresa.

### 2.7. TIPO DE FIBRA ÓPTICA <sup>[3][19][20]</sup>

Para determinar el tipo de fibra a utilizar en la red de acceso es necesario tomar en cuenta ciertas características de la fibra óptica, además, se considera la presencia de atenuación, dispersión, así como del ancho de banda, la velocidad de transmisión, entre los más importantes.

La máxima distancia de cobertura de una red PON (entre el OLT y el ONU) es de hasta 20 Km, considerando que la distancia que cubre el sector de Mariscal e Ñaquito juntos no superan los 10 Km, entonces no hay la posibilidad de incumplir la recomendación G.983.1 de la ITU-T.

La fibra óptica se ha caracterizado por ser el medio de transmisión que presenta menos alteraciones de la señal debido a fenómenos como la atenuación o la dispersión; sin embargo, se toma en cuenta las características de la fibra óptica en las ventanas ópticas, en lo referente a la dispersión se presenta el mínimo valor en la ventana de 1300 nm, pero se desea trabajar en la ventana de 1550 nm porque presenta menos pérdidas.

Surgen de esta manera fibras no dispersivas con la característica de que trabajan en torno a los 1550 nm con dispersión nula, esto se consigue variando el proceso

---

<sup>48</sup> El equipamiento para la Red de Distribución Óptica se detalla en el anexo 3

de fabricación de la fibra modificando la diferencia de índices de refracción del núcleo, estas fibras se denominan: *fibras de dispersión desplazada (DSF)*.

Sin embargo, en la actualidad se requiere trabajar con nuevas aplicaciones tales como WDM, por este motivo se genera un nuevo tipo de fibra óptica con las características óptimas para el desempeño de la mencionada tecnología. De esta manera se construyen las fibras monomodo con Dispersión Desplazada No Nula (NZDSF), normalizadas bajo la recomendación G.655 de la ITU-T.

Se escoge para el diseño de la red este tipo de fibra que permite capacidades de transmisión cercanas a los Tera bits por segundo, la dispersión cromática es menor (4,6 ps/km.nm) comparada con los demás estándares de fibra (20 ps/km.nm) en la ventana de 1550 nm, aunque la atenuación es mayor con respecto a la fibra monomodo de mínimas pérdidas cuya recomendación de la ITU-T es G.654 (0,22 a 0,30 dB/Km comparado con 0,15 a 0,25 dB/Km de la fibra NZDSF en la ventana de 1550 nm), la diferencia es mínima y en el diseño la distancia entre la CO y el punto más lejano de su área de cobertura no supera los 3 Km considerando la no linealidad de las canalizaciones ya existentes. Las características más relevantes de esta fibra se presentan en la tabla 2.15.

<b>Recomendación G.655 ITU-T</b>	
<b>Parámetros</b>	<b>Especificación</b>
Diámetro del campo modal	8,4 $\mu\text{m}$ (+/- 0,6 $\mu\text{m}$ ). Diámetro núcleo 6 $\mu\text{m}$ .
Diámetro del revestimiento	125 $\mu\text{m}$ (+/- 1 $\mu\text{m}$ )
Longitud de onda de corte	1260 nm
Atenuación	Desde 0,22 a 0,30 dB/Km en 1550 nm
Dispersión cromática	4,6 ps/km.nm en 1550 nm
Zona de dispersión no-nula	Desde 1540 a 1560 nm

**Tabla 2.15. Características de la Fibra con Dispersión Desplazada No Cero (NZ-DSF)<sup>[20]</sup>**

Se utiliza para el diseño la fibra de construcción *Loose tube* (holgada), pues presenta diámetro y costo menor con respecto a las fibras de construcción *Ribbon* (ajustada) o *Tight Buffer*.

El cable de fibra óptica de construcción *Loose Tube*, puede ser usado en instalaciones aéreas, en ductos o enterrados, pueden ser dieléctricos para ser utilizados en las instalaciones aéreas usando los postes del cableado eléctrico y así evitar intermitencias con las instalaciones eléctricas. Para instalaciones por ductos o enterrados se usa las fibras con armazón, tienen única o doble chaqueta, diseño pequeño y ligero, permiten óptima flexibilidad y son de fácil manejo durante la instalación, poseen una envoltura áspera y ondulada de acero que da compresión y protección contra roedores, es cubierta por una chaqueta de polietileno para evitar la fricción en el momento de la instalación.

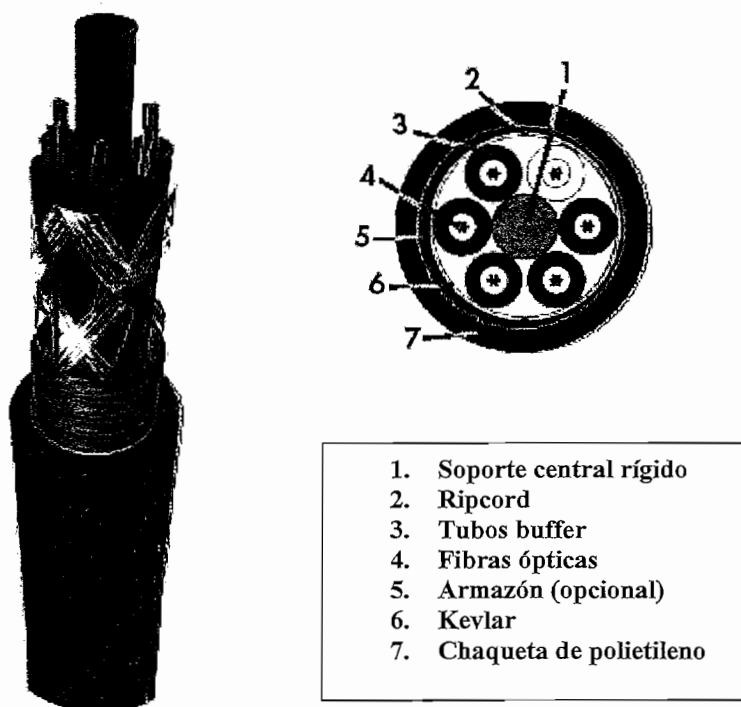


Figura 2.12. Fibra óptica Loose Tube <sup>[35]</sup>

La fibra óptica *Loose Tube* se encuentra envuelta en un recubrimiento primario coloreado de acetato de 6  $\mu\text{m}$  de espesor y 150 a 250  $\mu\text{m}$  de diámetro. El

recubrimiento secundario es un tubo de material plástico de 1.5 a 3 mm de diámetro y espesor de 0.25 mm dependiendo del número de fibras que se aloje, el tubo plástico está relleno de grasa de silicona, que evita la entrada de la humedad, ésta debe ser estable entre -20 °C y 60 °C.

## 2.8. TOPOLOGIA DE LA RED PON <sup>[16][35]</sup>

La topología de la red se presenta en la figura 2.13, se puede ver un esquema de la CO donde el OLT se une al conmutador ATM de Mariscal, éste a su vez a través de un STM-4 se une al conmutador ATM de Ñaquito donde se une al otro OLT, esto para el primer año de operación Sin embargo, con el incremento constante de clientes se ira adquiriendo equipo adicional hasta llegar a la demanda para los 10 de años de operación de la red.

Entre los principales elementos adicionales que se aprecian en la topología de la red APON están los siguientes:

- Modulador de video: Combina las señales de varias entradas de video en una señal óptica.
- Transmisor de video óptico: Se encarga de transmitir la información del modulador al amplificador EDFA.
- Acoplador WDM: Usa WDM para integrar la señal de video a 1550 nm a las señales de voz y datos (1490 nm descendente y 1310 ascendente).

La planta externa esta conformada por 15 *splitters* de *split ratio* 1x32 distribuidos en la zona de cobertura de cada central según la densidad de usuarios.



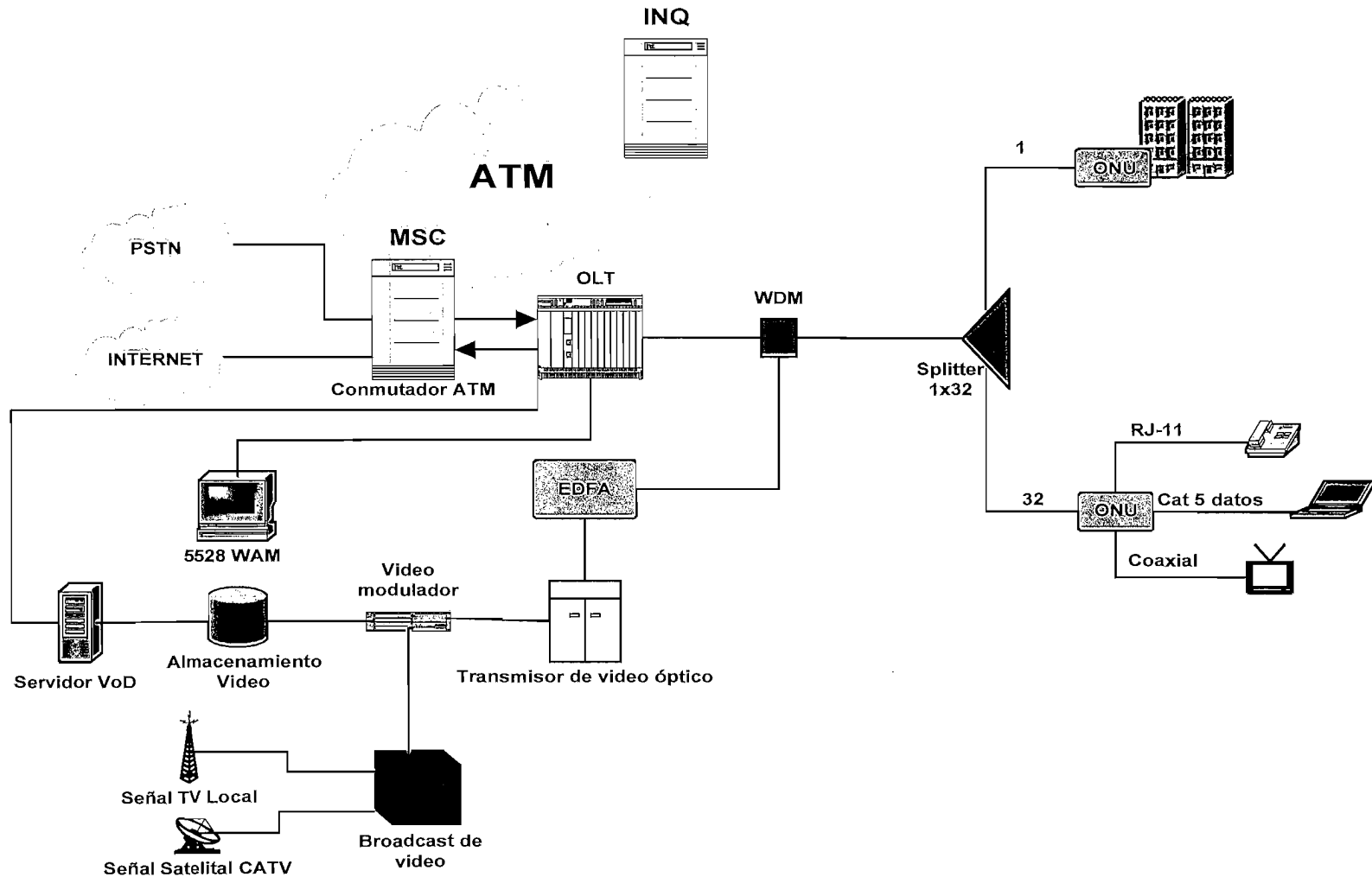


Figura 2.13. Topología de la red PON [16][35]

## CAPÍTULO 3.

### ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se realiza un estudio general sobre el costo de implementación de la red de acceso APON, esto se efectúa en base a costos obtenidos de los fabricantes y costos referenciales de mano de obra e instalación que ANDINATEL utiliza para sus proyectos. Hay que tomar en cuenta que los precios varían constantemente dependiendo exclusivamente de la demanda de los equipos en el mercado de las Telecomunicaciones.

Cabe resaltar que la información proporcionada por las empresas de Telecomunicaciones en cuanto a precios de su equipamiento es confidencial y dada únicamente a la empresa solicitante de sus productos.

Para determinar el costo total del presente proyecto se realizará el análisis en tres partes que cubren lo descrito a continuación:

- Se analizan los costos de los equipos utilizados para la oficina central y los correspondientes a los equipos de usuario.
- Se analizan los costos correspondientes a la Red de Distribución Óptica (ODN) en la que se incluyen los costos de la fibra óptica a ser implementada, armarios, pedestales, *splitters* ópticos y demás elementos necesarios en la red.
- Se analizan también los costos de instalación y los costos de operación y mantenimiento de la red.

Cabe resaltar que estos costos corresponden al primer año de operación de la red APON.

### 3.1. INVERSIÓN DE EQUIPOS EN LA OFICINA CENTRAL Y DE USUARIO

La inversión total de equipos a ser utilizados en la oficina central de Mariscal e Iñaquito para el primer año de funcionamiento se indica en la tabla 3.1.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario (USD)</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
2	Chassis OLT	6700	13400
4	Tarjetas OC-12/STM-4	5950	23800
4	Unidad de control de alarma	544.46	1088.92
8	Tarjetas PON (PLT-2) – 2 puertos	6400	51200
TOTAL SIN IMPUESTOS			89488.92
12% DE IVA			10738.67
<b>TOTAL</b>			<b>100227.59</b>

**Tabla 3.1. Descripción de costos del equipamiento utilizado en el OLT**

Para determinar el costo total de los CPEs se determina el costo unitario para los 450<sup>49</sup> ONTs requeridos, ésta cantidad de ONTs es igual al número de usuarios que se obtuvo para el primer año de operación. Esto se aprecia en la tabla 3.2

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario (USD)</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
450	B-ONT	570	256500
12% DE IVA			30780
<b>TOTAL</b>			<b>287280</b>

**Tabla 3.2. Descripción de costos del equipamiento de usuario**

<sup>49</sup> Referirse a la tabla 2.7

En la tabla 3.3 se establecen costos complementarios en los que se incluye el costo del software necesario para gestionar la red, incluye la licencia para la operación del sistema por parte del fabricante. Se adiciona también los costos por *racks* para ubicar el *chassis* en cada central, así como de *patch panels* y sistemas de refrigeración necesarios para el funcionamiento óptimo de los equipos.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario (USD)</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
1	5528 WAM Base Software	200	200
1	7340 FTTU, OLT SW RTU	18544	18544
1	Licencias	4000	4000
2	Racks, aire acondicionado, patch panels	2000	4000
TOTAL SIN IMPUESTOS			26744
12% DE IVA			3209.28
<b>TOTAL</b>			<b>29953.28</b>

**Tabla 3.3. Descripción de costos complementarios**

Cabe destacar que no se incluyen costos por arriendo de oficinas, ya que se usan las instalaciones de las centrales de Mariscal e Iñaquito. Se prevé la adquisición de una sola licencia ya que puede gestionarse a los dos equipos OLT desde una de las centrales, la adquisición de más licencias dependerá de la demanda de usuarios y la necesidad de los operadores de la red de contar con más recursos para poder monitorear a los clientes.

De esta manera se puede obtener el costo total de equipamiento en la oficina central y está dado por:

<b>Descripción</b>	<b>Costos (USD)</b>
Equipamiento del OLT	100227.59
Equipamiento de usuario	287280
Costos complementarios	29953.28
<b>TOTAL</b>	<b>417460.87</b>

**Tabla 3.4. Descripción del costo total de equipos en la CO y de usuario**

### **3.2. INVERSIÓN DE EQUIPAMIENTO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN ÓPTICA**

Para establecer el costo total del equipamiento utilizado en la red de distribución óptica se determina el costo de la fibra óptica<sup>50</sup> a ser implementada y del número de *splitters* necesarios para el primer año de operación del sistema.

Se estima además el costo de equipamiento tal como: armarios o pedestales, acopladores, equipo de instalación, herrajes y manguera utilizados para la instalación de la fibra, pruebas, etc.

Para determinar la distancia de la fibra óptica se toma como referencia el área de cobertura de la central telefónica, la distancia desde el límite de una central a otra es de aproximadamente 3.5 Km<sup>51</sup> de los cuales se asume 80% canalizado y 20 % aéreo.

<sup>50</sup> Información proporcionada por la empresa Netrix “Redes y Soluciones de Comunicación”

<sup>51</sup> Información proporcionada por la Gerencia de Accesos de Andinatel S.A.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario (USD)</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
14.44 [Km]	Cable de Fibra óptica <i>loose tube</i> , G.655 de 48 fibras	9	129960
17.5 [Km]	Cable de Fibra óptica <i>loose tube</i> . G.655 de 12 fibras, aéreo	3.39	59325
15 [u]	<i>Splitters</i>	950	14250
TOTAL SIN IMPUESTOS			203535
12% DE IVA			24424.2
<b>TOTAL</b>			<b>227959.2</b>

**Tabla 3.5. Descripción de costos del equipamiento para la ODN**

<b>Descripción</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
Equipamiento, armarios, acopladores, elementos pasivos, equipo para instalación, herrajes, mangueras, pruebas, etc.	100000
12% DE IVA	12000
<b>TOTAL</b>	<b>112000</b>

**Tabla 3.6. Descripción de costos del equipamiento adicional para la ODN**

El costo total de equipamiento de la red de distribución óptica se muestra en la tabla 3.7.

<b>Descripción</b>	<b>Costos (USD)</b>
Equipamiento ODN	227959.2
Equipamiento adicional ODN	112000
<b>TOTAL</b>	<b>339959.2</b>

**Tabla 3.7. Descripción del costo total para el equipamiento de la ODN**

El costo total de equipamiento de la red PON es igual a la suma del costo total de equipamiento de la oficina central, del equipo de usuario y de la red de distribución óptica, este valor se muestra en la tabla 3.8.

<b>Descripción</b>	<b>Costos (USD)</b>
Costo total de equipos en la CO y de usuario	417460.87
Costo total de equipamiento de la ODN	339959.2
<b>TOTAL</b>	<b>757420</b>

**Tabla 3.8. Descripción del costo total de equipamiento de la red PON**

### **3.3. COSTOS DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN, MANTENIMIENTO DE LA RED**

La inversión que se realiza en la instalación de los equipos se la obtiene de un porcentaje del valor total invertido en los equipos. Este porcentaje es un criterio tomado por las principales empresas proveedoras de equipos, el cual cubre los gastos generados para la instalación y los elementos necesarios utilizados para realizar este procedimiento. El porcentaje ocupado es un 10%<sup>52</sup> del valor total de equipamiento a invertirse al primer año de operación de la red.

El costo para cubrir los gastos de operación y mantenimiento se determinan de igual forma que la instalación de equipos, obteniendo un porcentaje del valor total invertido en el equipamiento de la red. El porcentaje ocupado es un 12%<sup>52</sup> del valor total de equipamiento a invertirse al primer año de operación de la red.

El valor total de inversión del equipamiento de la red se describe en la tabla 3.8, a partir de ese valor se calcula los porcentajes de Instalación, operación y mantenimiento de la red, los valores se detallan en la tabla 3.9.

<sup>52</sup> Política de inversión con la que Andinatel S.A. maneja todos sus proyectos.

Descripción	Porcentaje	Costos (USD)
Instalación de equipos de la red PON	10%	75742
Operación y Mantenimiento	12%	90890.4
<b>TOTAL</b>		<b>166632.4</b>

**Tabla 3.9. Descripción de los valores de instalación, operación y mantenimiento de la red PON**

### 3.4. COSTO TOTAL DE LA RED APON

El costo total de la red para el primer año de operación que invertirá la empresa de telecomunicaciones ANDINATEL S.A. para ofrecer servicios de banda ancha usando tecnología APON se describe a continuación en la tabla 3.10.

Descripción	Costos (USD)
Costo total de equipamiento de la red PON	757420
Instalación (10%)	75742
Operación y Mantenimiento (12%)	90890.4
<b>TOTAL</b>	<b>924052.4</b>

**Tabla 3.10. Descripción del costo total de la red APON en el primer año de operación**

El costo presentado en la tabla 3.10 corresponde a la inversión para el primer año de operación de la red en lo que a gastos de equipamiento se refiere, los fabricantes presentan sus ofertas a la empresa solicitante con precios fijos durante el tiempo que dure la oferta, este plazo tiene un máximo 60 días desde el día que se entrega la oferta a la empresa solicitante del producto.

El equipamiento necesario para los próximos años será adquirido según la demanda de usuarios lo amerite, sin embargo, a continuación se hace una proyección de costos para el año 2014, para esto se hará uso de la ecuación<sup>[10]</sup>



3.1 que utiliza la tasa de interés vigente para poder determinar el costo aproximado del equipamiento para el año 10 de operación de la red.

$$M = C(1 + i)^n \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

M = Valor proyectado para el año n

C = Valor inicial dado en el año de 0

i = tasa de interés activa

n = Valor de años al cual será proyectada la demanda

El valor de i es igual a 10.75% <sup>[41]</sup>

Se realiza un plan de expansión para visualizar las necesidades de la red y el costo necesario para la incorporación del equipamiento para dicho año, para esto se hace uso del incremento de clientes de la red<sup>53</sup>, de esta manera se obtiene el equipo que va a ser requerido según la demanda para cada año de operación de la red.

Descripción	Año de operación				
	2006	2007	2008	2009	2010
Chassis	0	0	0	0	0
Tarjetas PON	2	2	2	2	2
Tarjetas STM-4	0	1	1	1	2
ONTs	144	129	129	129	129
Splitters	4	4	4	4	4
Fibra Óptica canalizada	19.6	23.2	27.3	31.47	35.61
Fibra Óptica aérea	23.1	28.11	33.13	38.15	43.17

**Tabla 3.11. Equipamiento por año de operación**

<sup>53</sup> Referirse a la tabla 2.3.

Descripción	Año de operación			
	2011	2012	2013	2014
Chassis	1	0	0	0
Tarjetas PON	2	2	2	2
Tarjetas STM-4	2	2	3	2
ONTs	129	129	129	129
Splitters	4	4	4	4
Fibra Óptica canalizada [Km]	39.75	43.89	48.04	52.17
Fibra Óptica aérea [Km]	48.13	53.2	58.21	63.2

**Tabla 3.11. Equipamiento por año de operación (continuación)**

El equipamiento de la red de distribución óptica se lo realiza según el tipo de instalación y ubicación física del usuario, por esta razón únicamente se realiza una aproximación de la inversión para este *ítem* y se adjunta al monto total de cada año en la tabla 3.12.

Año de operación de la red APON	Inversión por año [USD]
2006	216830.7
2007	213229.3
2008	242310.3
2009	255635.5
2010	288814.9
2011	312116.8
2012	377783.3
2013	431605.2
2014	462467.05

**Tabla 3.12. Costos de expansión por año de operación**

Cabe mencionar que para los costos correspondientes a software se realiza una única inversión al primer año de operación del sistema, así como de los costos del equipamiento en la oficina central, no se considera para el cálculo posibles actualizaciones de software.

La tabla 3.12 muestra el costo para el equipamiento que va a ser necesario para cada año de operación de la red, estos valores son aproximados y se basan en la proyección de usuarios de la sección 2.5.2.

## CAPÍTULO 4.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- Se escoge ATM por su flexibilidad y eficiencia, por la capacidad de manejar distintos tipos de tráfico a alta velocidad y ofrecer garantías de calidad de servicio, se usa la infraestructura ATM ya existente en nuestro país, a través de la conexión de los OLT a los conmutadores ATM.
- La utilización de elementos pasivos en redes de acceso presenta una ventaja con respecto a las instalaciones de fibra óptica punto a punto pues permite ocupar menos fibra óptica en la planta externa lo que representa una disminución de costos.
- El objetivo fundamental del presente proyecto es el de realizar un estudio más orientado a la realidad, tomando en cuenta la infraestructura ya existente y posibles usuarios de la red, por esta razón no se diseñó la red para dar servicios a todo el Distrito Metropolitano de Quito, se prevé una introducción leve de la tecnología, dirigida a usuarios que tengan las facilidades de optar por ellos, pues si bien la utilización de una red de acceso pasiva óptica disminuye en costos con respecto a una red óptica punto a punto, el costo final al usuario todavía es alto comparado con las actuales tecnologías de banda ancha implementadas en nuestro país.
- Los resultados obtenidos de la encuesta son muy importantes ya que transmite la necesidad del usuario por tener servicios de mejor calidad, por incrementar la capacidad de sus enlaces y de tener la facilidad de adquirir nuevos y mejores servicios, de esta manera la necesidad de implementar

una red de acceso pasiva se justifica en aproximadamente 100% de aceptación.

- Para el dimensionamiento del proyecto se optó por trabajar con la fibra óptica que cumple con la recomendación de la ITU-T G.655 porque presenta mejores características y presenta mejor desempeño con la técnica WDM, pero puede usarse la fibra óptica monomodo estándar (Recomendación ITU-T G.652), ya que la distancia que recorre la fibra desde la CO hasta el usuario es corta (aproximadamente 2 Km) comparada con la permitida por la recomendación G.983.1 de la ITU-T que es 20Km, y esto no afecta el rendimiento a causa de la introducción de atenuación y dispersión cromática en la fibra, además los costos disminuirían por el uso de la fibra óptica monomodo estándar, además que disminuirá el costo de un estándar a otro de la fibra óptica.
- La capacidad estimada para el dimensionamiento de los equipos se lo realiza en base a los requerimientos de ancho de banda de los servicios por los que pueda optar el usuario, si bien se asumen valores puntuales en porcentaje, el ancho de banda que el usuario contrate, en la práctica dependerá de las necesidades de su empresa.
- la tecnología avanza rápidamente, en nuestro país el aprovechamiento de las mismas se lo hace en forma tardía. Por estas razones para la demanda de servicios a los 10 años de operación de la red no se tiene datos relevantes en nuestro país de utilización de los mismos. Las encuestas demuestran que la transmisión de video no ocupa un sitio fundamental para las empresas ecuatorianas, pero sin embargo el porcentaje obtenido tampoco es despreciable. La transmisión de video requiere más ancho de banda, por ejemplo la transmisión de HDTV requiere 12 Mbps como mínimo, y su demanda en nuestro país a futuro es incierta.

- La introducción de FTTx en los usuarios corporativos de nuestro país es solo un paso con miras a implementar este servicio a futuro a todos los usuarios llegando con fibra óptica hasta el hogar, tal como sucede en la actualidad con la tecnología xDSL que desde Enero del 2005 ha masificado el servicio a costos competitivos en varias provincias del Ecuador.
- La capacidad del OLT en la transmisión descendente y ascendente (622/155 Mbps), es teórico, ya que en la práctica los paquetes transmitidos envían celdas de control (PLOAM), de esta manera, la capacidad de transferencia para la interfaz descendente de 622.08 Mbps es de solo 599.86 Mbps.
- La ventaja de la técnica WDM permite el desarrollo de la tecnología PON, pues se puede multiplexar las 3 señales en longitudes de onda diferentes, con el uso de una sola fibra óptica para el transporte de la información al usuario.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de la tecnología PON en la aplicación de redes de acceso, por la facilidad de mantenimiento, por los beneficios que tiene el cliente con los servicios prestados por la red y por la calidad de servicio que se da al usuario, si bien ATM brinda QoS, se complementa con la utilización de un medio de transmisión seguro y confiable de gran capacidad como lo es la fibra óptica.
- Se recomienda la utilización de cables de fibra que permitan dar redundancia, es decir, optar por cables con capacidades mayores a las obtenidas en el diseño, esto brinda seguridad y un soporte técnico más eficiente.
- Se recomienda el uso de los *splitters* según la densidad de usuarios en una determinada zona, con esto se puede evitar el empleo innecesario de recursos y materiales.
- Se recomienda al momento de realizar las encuestas a clientes corporativos establecer una cita previa, ya que éstos no disponen del tiempo y en muchos de los casos consideran su información interna como confidencial.
- Se recomienda al momento de elegir un fabricante para que provea de equipamiento al sistema tomar en cuenta las aplicaciones de la red, alternativas de expansión y costos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### LIBROS Y PUBLICACIONES

- [1] SIEMENS. "Conductores de Fibra Óptica. Conceptos Básicos". Editorial Marcombo S.A. 1987. Berlín.
- [2] JARDON Hidelberto. "Sistemas de Comunicaciones por Fibras Ópticas". Editorial Alfa – Omega. 1995. Mexico.
- [3] RUBIO Baltasar. "Introducción a la Ingeniería Óptica". Editorial Addison Wesley Iberoamericana. 1994. Delaware. USA.
- [4] KASAP S.O. "Optoelectronics and Photonics: Principles and Practices". Editorial Prentice Hall. 2001. New Jersey. USA.
- [5] MEASURES M. Raymond. "Structural Monitoring with Fiber Optic Technology". Editorial Academic Press. 2001. California. USA.
- [6] CHOMYCZ Bob. "Instalaciones de fibra Óptica: Fundamentos, técnicas y aplicaciones". Editorial Mc Graw Hill. 1998. España.
- [7] JEFF HECHT. "Understanding Fiber Optics". Tercera Edición. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana. New Jersey.
- [8] TANENBAUM Andrew S. "Redes de Computadoras". Editorial Prentice Hall Hispanoamericana. 1997. México.
- [9] WAYNE Tomasi. "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas". Segunda Edición. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana. 1996. México.
- [10] SPIEGEL Murray. "Estadística". Segunda Edición. Editorial Mc Graw Hill. 1991. Madrid.
- [11] HIDALGO Pablo. "Telemática". Escuela Politécnica Nacional. 2002. Ecuador.
- [12] WINSTANLEY Steven. "Quality of Service over ATM Network". University of London. 1998. Londres.
- [13] ALCATEL. "Revista de Telecomunicaciones de Alcatel". 3er trimestre del año 2000



- [14] ALCATEL. "ATM Subscriber Access Multiplexer ASAM"
- [15] CISCO "Programa de la Academia de Networking de Cisco CCNA".1999.
- [16] EXFO. "FTTx PON Guide: Testing Passive Optical Networks". Second Edition. EXFO Electro - Optical Engineering Inc. 2004. Canada.
- [17] ITU-T. "Recommendation G.983.1". Aproved October 1999. Genove.
- [18] ITU-T. "Recommendation H.fsv-opreq". Audiovisual and Multimedia System, February 2003.
- [19] ITU-T. "Recommendation G.652" Fibra monomodo estandar
- [20] ITU-T. "Recommendation G.655" Fibra con dispersión desplazada no cero.

## **PROYECTOS DE TITULACIÓN**

- [21] CAPITO María Elena. "Implementación de un Laboratorio Virtual Básico de Comunicaciones por Fibra Óptica utilizando Labview". Tesis. Escuela Politécnica Nacional. 2003. Quito. Ecuador.
- [22] MAYORGA Edith. "Estudio y Diseño de una red Wan Pública ATM para ANDINATEL S.A.". Tesis. Politécnica Nacional. 2001. Quito. Ecuador.

## INTERNET

- [23] <http://www.unimuenster.de/Physik/AP/Lange/research/vcsel>
- [24] [http://ttt.upv.es/~framos/Fibra/wdm\\_scm.html](http://ttt.upv.es/~framos/Fibra/wdm_scm.html)
- [25] [http://www.radioptica.com/Fibra/wdm\\_scm.asp](http://www.radioptica.com/Fibra/wdm_scm.asp)
- [26] [http://banners.noticiasdot.com/termometro/boletines/docs/paises/america/latam/poder/2001/poder\\_sat-cable1.pdf](http://banners.noticiasdot.com/termometro/boletines/docs/paises/america/latam/poder/2001/poder_sat-cable1.pdf)
- [27] [http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito\\_doc/atm.htm](http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/atm.htm)
- [28] <http://www.mailxmail.com/curso/informatica/sdh/capitulo1.htm>
- [29] [http://www.xilinx.com/esp/networks\\_telecom/optical/net\\_equip/adm.htm](http://www.xilinx.com/esp/networks_telecom/optical/net_equip/adm.htm)
- [30] <http://www.xasa.com/wiki/es/wikipedia/s/so/sonet.html>
- [31] <http://www.carsoft.com.ar/tvcable.htm>  
[http://www.control-systems.net/jdvelez/estudiantes/hfc/red\\_hfc.htm](http://www.control-systems.net/jdvelez/estudiantes/hfc/red_hfc.htm)
- [32] <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EpVAZVuFFuWmFmcpHE.php>  
<http://www.frecuenciaonline.com/espanol/>  
<http://es.wikipedia.org/wiki/UMTS>  
<http://www.umtsforum.net/>
- [33] <http://www.telcordia.com/>
- [34] <http://www.ponforum.org/>
- [35] <http://www.alcatel.com/>
- [36] <http://www.quantumbridge.com/>
- [37] <http://www.terawave.com/>
- [38] <http://www.supertel.gov.ec/>
- [39] <http://www.conatel.gov.ec/>
- [40] <http://www.supercias.gov.ec/>
- [41] <http://www.bce.fin.ec>

# ANEXOS

# **ANEXO 1**

## **FORMATO DE LA ENCUESTA**

**ENCUESTA DE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES A REALIZARSE A  
EMPRESAS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

**INFORMACIÓN GENERAL:**

- a. Nombre de la empresa: \_\_\_\_\_
- b. Actividad fundamental: \_\_\_\_\_
- c. Ubicación: \_\_\_\_\_
- d. Numero de empleados de la empresa: \_\_\_\_\_
- e. Dişpone la empresa de sucursales en Quito, cuántas son? \_\_\_\_\_

**DATOS DEL ENCUESTADO:**

- a. Nombre: \_\_\_\_\_
- b. Cargo que desempeña en la empresa: \_\_\_\_\_

**CUESTIONARIO:**

1. ¿Cuales son los servicios de Telecomunicaciones que dispone su empresa?

- a. Transmisión de datos [ ]
- b. Internet [ ]
- c. Correo electrónico [ ]
- d. Transmisión de video [ ]
- e. Interconexión de Redes LAN [ ]
- f. Voz sobre IP [ ]
- g. Multimedia [ ]
- h. Otros [ ]

2. Características de su enlace de transmisión de datos:

a. Velocidad de transmisión: \_\_\_\_\_

b. Ancho de banda efectivo: \_\_\_\_\_

c. Disponibilidad del enlace (Up - time):  
\_\_\_\_\_

3. ¿Cual es su proveedor de servicios de Telecomunicaciones?

\_\_\_\_\_

4. Su proveedor de servicios de Telecomunicaciones le brinda:

a. Calidad de servicio [ ]

b. Soporte técnico [ ]

c. Conexión inmediata [ ]

d. Integración de servicios [ ]

5. ¿Considera usted que los servicios de telecomunicaciones que le ofrece su proveedor justifican el costo que paga por ellos?

SI [ ] NO [ ]

6. ¿Cuál es la empresa que le da servicios de “última milla” para la transmisión de datos?

---

7. La red de acceso “ultima milla”, en nuestro país utiliza cobre como medio de transmisión. ¿Ha tenido problemas en su enlace a causa de interferencias, atenuación de la señal o por factores intrínsecos del cobre?

SI [ ]      NO [ ]

8. Señale que servicios de Telecomunicaciones desearía implementar en su empresa indicando cuál de estos es más importante para su empresa numerándolos en orden ascendente.

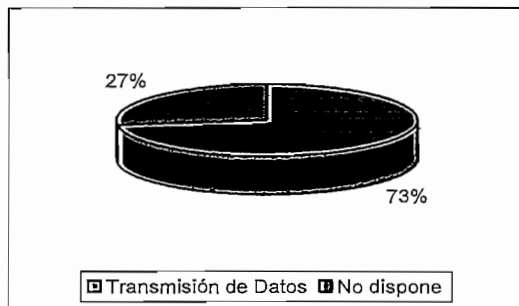
(Valorar en la escala del 1 al 8 calificando con 1 el más relevante y con 8 el menos relevante)

- a. Transmisión de datos a alta velocidad [ ]
- b. Internet [ ]
- c. Video conferencia [ ]
- d. Correo electrónico [ ]
- e. Multimedia [ ]
- f. Video bajo demanda [ ]
- g. Voz sobre IP [ ]
- h. Otros \_\_\_\_\_

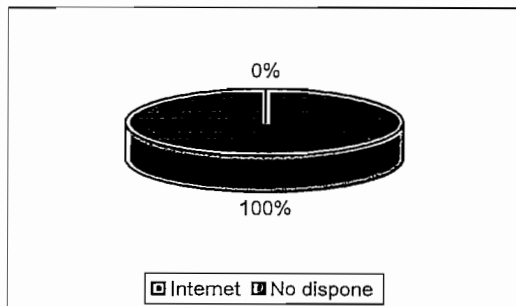
## TABULACIÓN DE RESULTADOS DE LA ENCUESTA

### Pregunta 1.

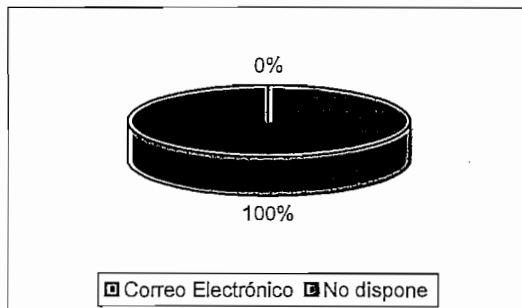
¿Cuáles son los Servicios de Telecomunicaciones de los cuales dispone su empresa?



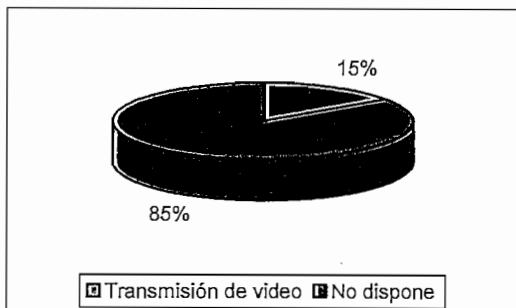
**Transmisión de datos**



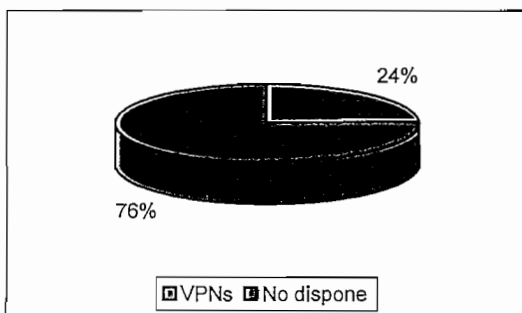
**Internet**



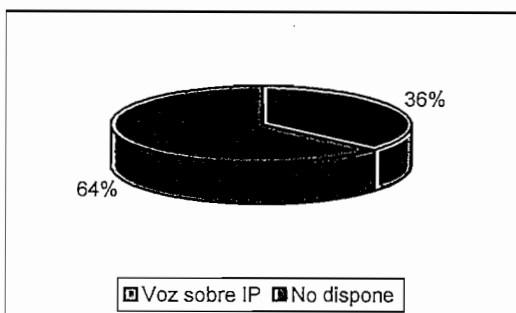
**Correo Electrónico**



**Transmisión de video**

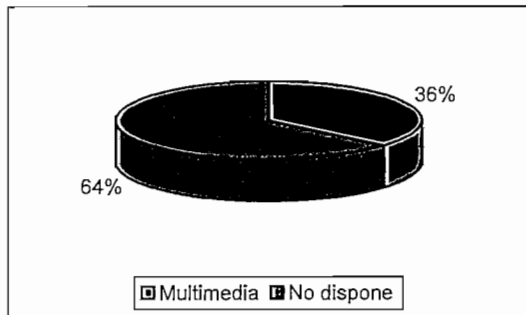


**VPNs**

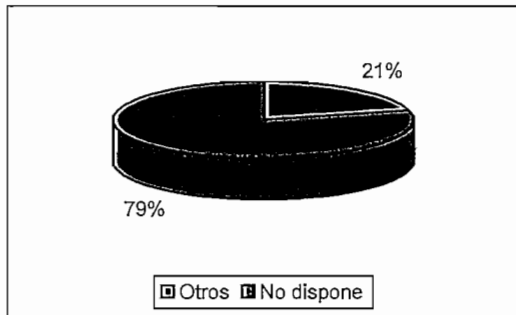


**Voz sobre IP**





**Multimedia**



**Otros servicios**

Se puede apreciar en estos resultados que el servicio de Internet y correo electrónico lo disponen todas las empresas encuestadas. La transmisión de datos también es uno de los principales servicios de telecomunicaciones que se dispone en el sector empresarial de Quito, ocupa el tercer lugar con 73%.

**Pregunta 2.**

**Características de su enlace de transmisión de datos.**

La mayoría de empresas encuestadas disponen de enlaces superiores a 128 Kbps a excepción de dos. La disponibilidad de los enlaces en promedio es de 99.66%.

**Pregunta 3.**

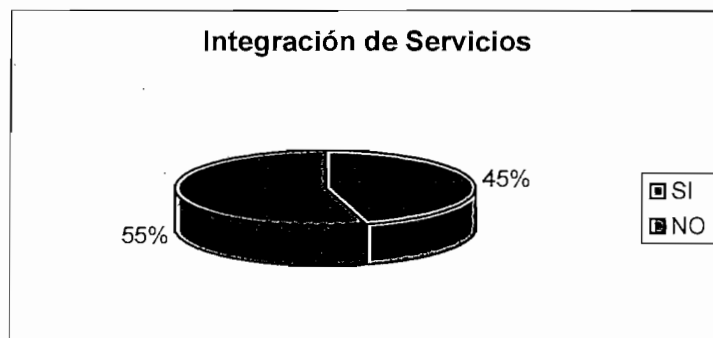
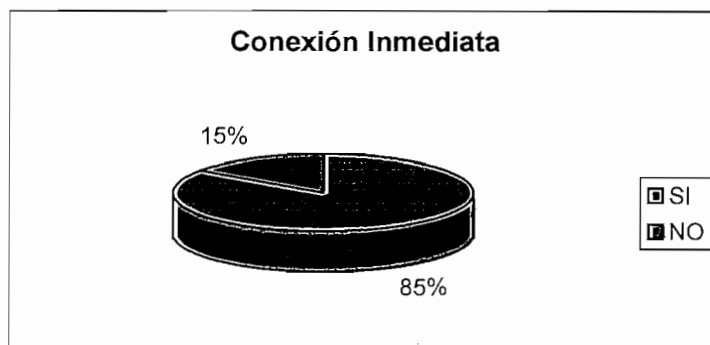
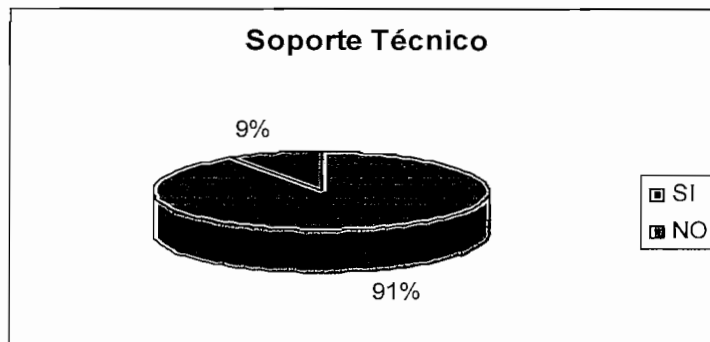
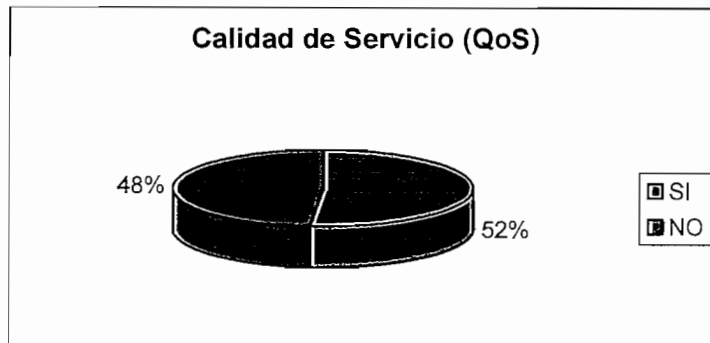
**¿Cuál es su proveedor de servicios de Telecomunicaciones?**



De los resultados de las encuestas el 98% de los usuarios tienen contratados los servicios de telecomunicaciones con empresa privadas.

**Pregunta 4.**

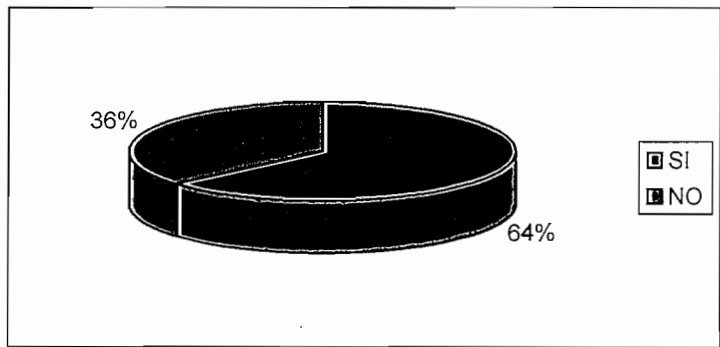
Su proveedor de servicios de Telecomunicaciones le brinda:



El 48% de las empresas encuestadas califican que el servicio de telecomunicaciones que disponen no tiene Calidad de Servicio (QoS), pero en su mayoría tiene soporte técnico (91%) y conexión inmediata (85%). La integración de servicios la tienen el 45% de las empresa encuestadas.

**Pregunta 5.**

¿Considera usted que los servicios de Telecomunicaciones que le ofrece su proveedor justifica el costo que paga por ellos?



El 36% de las empresas encuestadas considera que valor de los servicios de Telecomunicaciones contratados no justifica el servicio que están recibiendo.

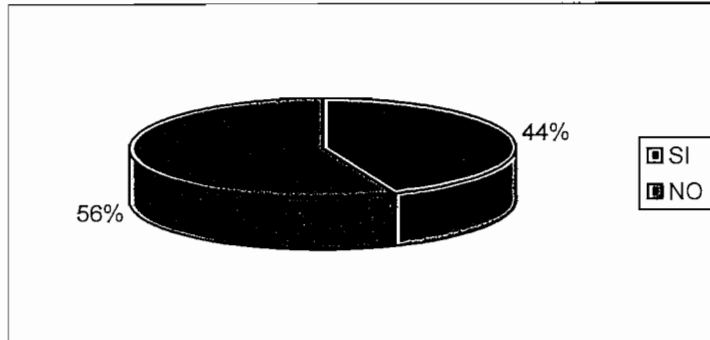
**Pregunta 6.**

¿Cuál es la empresa que le da servicios de “última milla” para la transmisión de datos?

La encuesta se la realizó solo a clientes de ANDINADATOS, pues estos serán los primeros beneficiarios de la red, cabe mencionar que en el proceso de ejecución del proyecto, también se pueden ir uniando clientes que tiene contratos con otros carriers.

**Pregunta 7.**

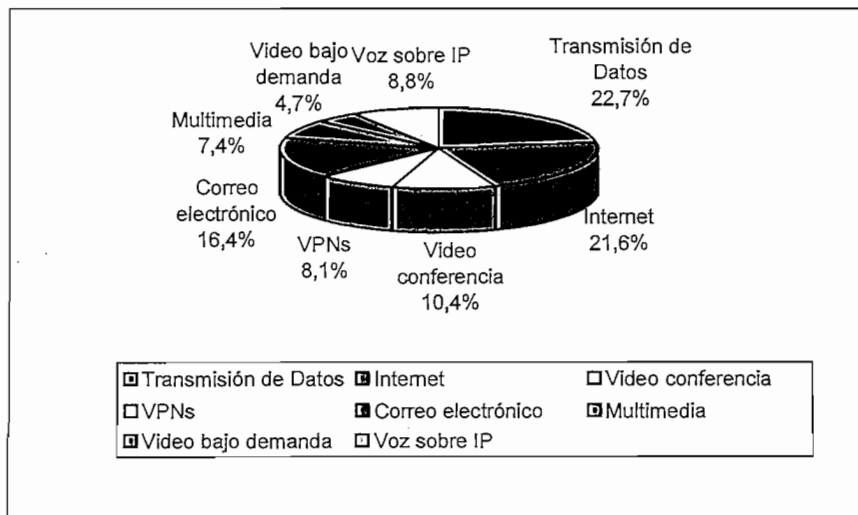
La red de acceso en nuestro país utiliza cobre. ¿Ha tenido problemas en su enlace a causa de interferencias, atenuación o por otros factores intrínsecos de cobre?



El 56% de usuarios no ha tenido problemas a causa de interferencias producidas por el cobre. Aunque esto muchas veces es transparente para el usuario, pero para el operador de la red de acceso es visible los problemas presentados en el medio de transmisión.

**Pregunta 8.**

Señale los servicios de Telecomunicaciones que desearía implementar en su empresa indicando cuál de estos es el más importante para su empresa.

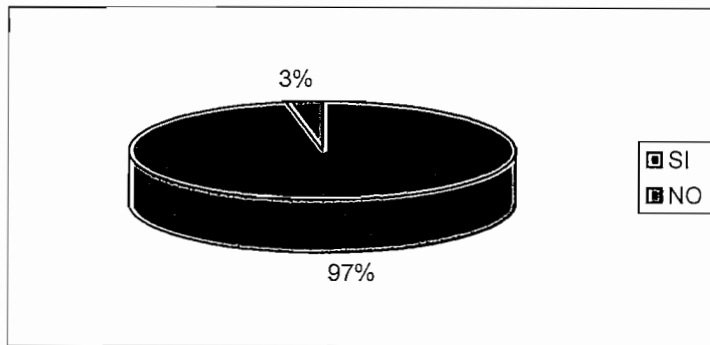


Se califica a cada servicio de telecomunicaciones numerándolos en forma ascendente, valorando en la escala del 1 al 8, calificando con 1 el más relevante y

con 8 el menos relevante. Los resultados indican que la transmisión de datos es el servicio con más demanda por las empresas de telecomunicaciones con 22.7% seguido por el servicio de Internet con 21.6%.

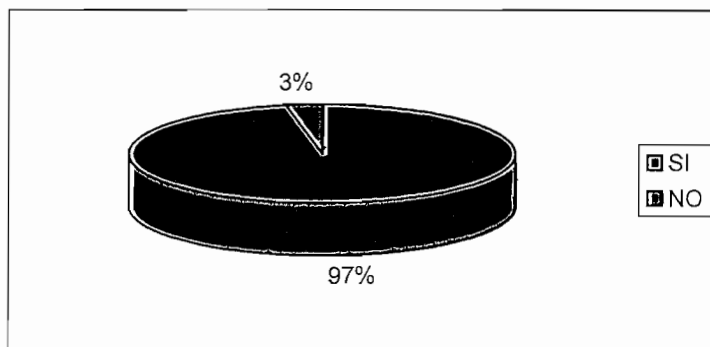
**Pregunta 9.**

¿Implementaría estos servicios si su proveedor le ofrece mayor ancho de banda, rápido aprovisionamiento de servicios y garantías de QoS a un costo efectivo y de manera eficiente?



**Pregunta 10.**


La implementación de fibra óptica en redes de acceso con elementos pasivos (bajo costo) permite obtener un servicio con las características mencionadas anteriormente ¿Optaría usted por utilizar un sistema de última milla con fibra óptica para proveer de servicios de Telecomunicaciones para su empresa o negocio?



Estas dos últimas preguntas están dirigidas para justificar el proyecto de la realización de la red de acceso pasiva, se aprecia que solo el 3% de los encuestados no opta por los servicios que ofrece la red (1 de 33). Con estos resultados se evidencia la necesidad de realizar el proyecto para implementar la red APON.

## **ANEXO 3**

### **SOLUCIONES ALCATEL 7340 FTTU**



## Alcatel 7340 P-OLT

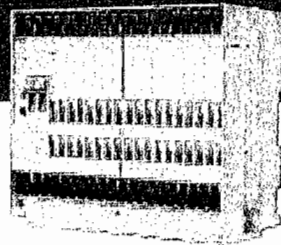
Packet Optical Line Terminal (ANSI Version) | FGU 2.0, 2.1

The Alcatel 7340 P-OLT is a key component of the Alcatel 7340 Fiber to the User (FTTU) solution. The Alcatel 7340 FTTU is a full service access network (FSAN) standards compliant fiber access solution for homes and businesses. The FTTU platform provides scalable bandwidth using passive optical network (PON) technology for video, voice, and high speed data services. Services are delivered using a single fiber with three wavelengths multiplexed together — two for downstream and upstream transport and a dedicated wavelength for downstream video. Capitalizing on Alcatel's leadership in wireline, broadband access technology, the FTTU platform enables service providers to cost-effectively deliver high revenue, next generation broadband services today, over a single optical fiber. The P-OLT shares common components with Alcatel's market leading ASAM platform and is managed by the same Alcatel 5526 AMS management system. The scalability of the Alcatel 7340 P-OLT makes it ideal for initial network rollout and widespread deployment.

The Alcatel 7340 P-OLT provides aggregation and switching functionality between the core network and PON interfaces. It seamlessly terminates all PON interfaces for both homes (H-ONT) and businesses (B-ONT). The Alcatel FTTU product line includes a suite of Optical Network Terminals (ONTs) for different types of customers. The P-OLT 2.0 features data throughput capacity with scalability unmatched by its competitors. The P-OLT can aggregate and groom traffic using ATM OC-3, OC-12, and Gigabit Ethernet. The P-OLT can be housed in a central office (CO) or in any network hub site.

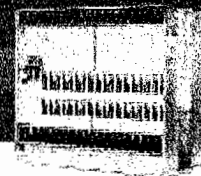
### Key Features

- > Second generation PON platform with throughput capacity and operational enhancements unmatched by competitors, with each IO slot having 622 Mb/s capacity with additional broadcast bus capacity
- > Provides terminations for up to 1,152 subscribers per shelf and up to 3 shelves per rack.
- > Quality of Service (QoS) for all service traffic types (CBR, rt/nrt VBR, UBR)
- > Dynamic bandwidth assignment (DBA) support for higher throughput for bursty traffic
- > Choice of high speed network interfaces — ATM OC-3, OC-12, and Gigabit Ethernet



High revenue, next generation broadband services over a single optical fiber.

ALCATEL



- > Enables seamless migration to all IP network
    - GigE for Core IP network interface
    - enhanced capacity and GigE for switched IP Video
    - platform for voice over IP (VoIP) via session initiation protocol (SIP) gateway in ONT
  - > Cost-effective services over a single optical fiber.
  - > Shares common components with Alcatel's market leading ASAM product line
  - > Building integrated timing supply (BITS) interface for network synchronization
  - > Simple remote software upgrade
  - > Authentication (RADIUS) support for remote management
  - > Support both inband (i.e., ATM PVC) management as well as Ethernet interface for out-of-band (i.e., IP network) management.
  - > Managed by the Alcatel 5526 AMS or Alcatel 5528 WAM
- > 622/155 Mb/s downstream/upstream – with a third wavelength dedicated for downstream video – wave division multiplexed (WDM) on single fiber
  - > Two ATM network terminations (NT) with integrated 5 Gb/s switch fabric – software configurable for OC3c/OC12c operation.
  - > ATM OC-3 line termination interface – point-to-point optical link for core network interface, aggregating/subtending other devices.
  - > Gigabit Ethernet interface with ATM to Ethernet bridging and VLAN tagging capabilities.
  - > EIA-232 serial craft ports for local maintenance
  - > Ethernet interface for local or network connection for the Alcatel 5526 AMS or 5528 WAM
  - > BITS interface for network timing supply

### Base P-OLT System Configuration

- > Single shelf (ALTS-J)
- > 1 network termination (SWNT-A) modules (optional 1+1 protection)
- > 1 PON line termination module (PLT2-H)
- > 1 alarm control unit (ACU)

### Capacity

- > High capacity backplane (170+ Gb/s)
- > 5 Gb/s ATM switching capacity on each OC-3/12 NT cards
- > 1,152 subscribers per shelf, 3 shelves per rack
- > 18 PON line termination (PLT2-H) cards per shelf
- > 2 PON ports per PLT2-H
- > 32 ONTs supported per PON
- > Up to 18 ATM OC-3 (SALT-D) line termination cards per shelf
- > Up to 18 Gigabit Ethernet (GELT-A) line termination cards per shelf

## Technical Summary

### Management

- > Alcatel 5526 AMS or Alcatel 5528 WAM
- > Alcatel 5528 WAM manages up to 50 P-OLTs

### Interfaces

- > Up to 36 ITU-T G.983 standard compliant BPON interface in a P-OLT chassis

### Protocols

- > ITU-T G.983.1, for broadband PON
- > ITU-T G.983.2 for ONT management and control interface (OMCI) for BPON management channel
- > ITU-T G.983.3 for the enhanced wavelength support for video
- > ATM over SONET
- > IEEE 802.3, IEEE802.1 for Ethernet interfaces

### QoS

- > ATM QoS classes supported: UBR, CBR and rt/nrt VBR

### Standards

- > NEBS-3 compliant
- > UL certified

### Physical

- > Height: 22.75 in. (57.79 cm)
- > Width: 23 in. (58.42 cm)
- > Depth: 12 in. (30.48 cm)
- > Hinged protective front cover
- > Removable rear cover

### Fan Assembly

- > Variable speed fan with replaceable filters
- > Integrates fan assembly at the bottom of the shelf

### Environment

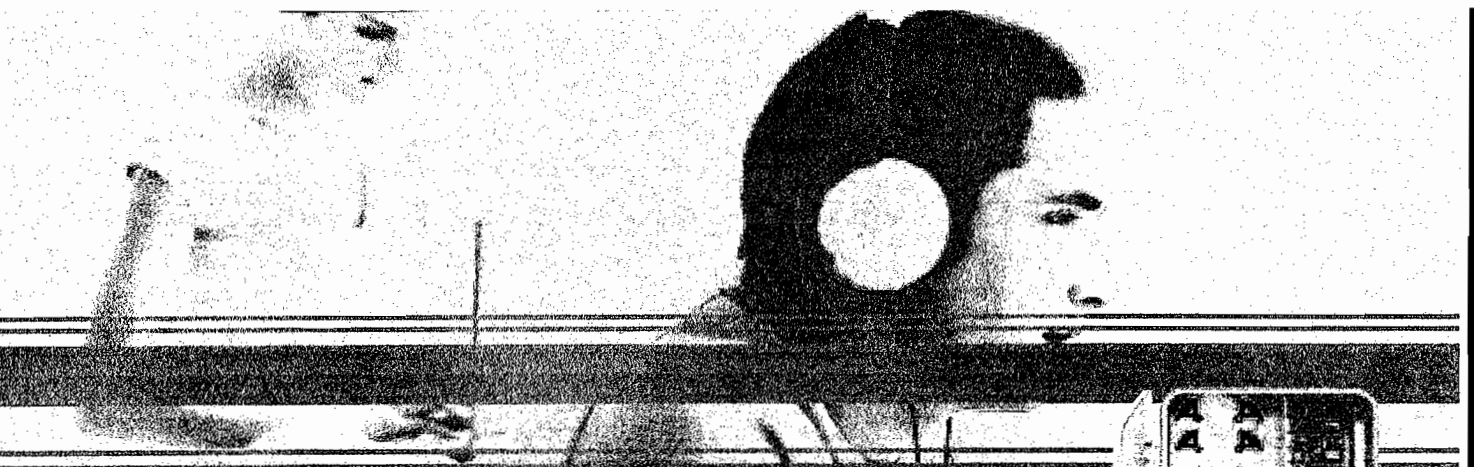
- > Operating temperature: 41 F to 104 F (5 C to 40 C)
- > Relative humidity (noncondensing): 20% to 55%

For more information on the Alcatel's FTTU solution, visit [www.alcatel.com/fttu](http://www.alcatel.com/fttu).

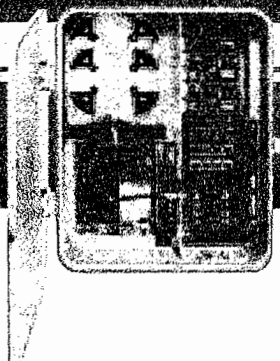
[www.alcatel.com](http://www.alcatel.com)

Alcatel and the Alcatel logo are registered trademarks of Alcatel. All other trademarks are the property of their respective owners. Alcatel assumes no responsibility for the accuracy of the information presented, which is subject to change without notice. © 06 2004 Alcatel. All rights reserved. 3CL 00469 0186 TQZZA Ed.04 18274





## Alcatel 7340 B-ONT Business Optical Network Terminal (ANSI Version) | FGU 2.0, 2.1



The Alcatel 7340 B-ONT is part of the industry leading Alcatel 7340 FTTU solution for fiber access. It enables service providers to deliver integrated high-speed data, voice and video services to small and medium-sized businesses (SMB) over a passive optical network (PON) infrastructure. As a result, service providers can cost-effectively deliver foreign exchange station (FXS), DS1, analog and digital video and high-speed Ethernet services. With ATM-based traffic management capabilities, a customer's service level definition is easily configured and managed using the Alcatel 5526 Access Management System (AMS) providing a graphical view of the FTTU network elements.

The Alcatel 7340 B-ONT is compliant with the full service access network (FSAN) standards for fiber access. The system design significantly enhances price, performance, and scalability from the first generation B-ONT and is unmatched by its competitors. The system not only allows a suite of interfaces today but also has the flexibility to support additional interfaces to meet all business needs. It can be deployed indoors or outdoors — all in a carrier-class NEBS certified platform.

The Alcatel 7340 B-ONT operates on the same PON with the Alcatel H-ONT platform, allowing service providers to deploy both residential and business services on the same PON. This makes it ideal for suburban communities with clusters of homes and businesses.

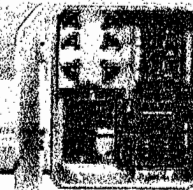
Installation is simple: mount the unit, connect to the network and to the existing building wiring, and plug in the power. Environmentally secure packaging allows flexibility for either indoor or outdoor deployments. Integrated testing capabilities also offer a powerful tool for remote management and problem determination without initiating costly truck rolls. Uninterrupted service is supported through the APC CP-50 battery backup product family.

### Key Features

- > Single fiber for voice, video and data — enhanced wavelength (1550 nm) supported for video applications
- > Full service access network (FSAN), ITU 983.1/2/3 compliant
- > Traffic management capabilities — allows quality of service (QoS) and service level agreement (SLA) enforcement.

Optimized for the delivery of broadband business services.





## Technical Summary

### Management

- > Power, Battery, PON, Ethernet, DS1 status LEDs
- > ITU G.983.2 management supported for configuration and performance monitoring
- > Managed by the Alcatel 5526 AMS

### Network Interface

- > 622/155 PON interface
- > ITU-T G.983.1 and G.983.3 compliant
- > Supports enhanced wavelength for video applications

### Service Interfaces

- > 1 10/100Base-T Ethernet interface
  - future release: up to 12 10/100Base-T Ethernet interfaces
  - CAT3 or better UTP Cable
- > DS1
  - 1 or 4 DS1 interfaces
  - future release: up to 12 DS1
  - future release: E1 support
  - software configurable
  - supports loopback for FDL and in-band codes
- > XDSL
  - future release: up to 12 xDSL interfaces
- > POTS Voice
  - 8 FXS line interfaces
  - future release: 24 FXS line interfaces
- > Video
  - single F connector for RF video delivery
- > Input power terminal block
- > Grounding
  - clamp connector for 12 AWG

### Network Standards

- > IP over ATM AAL5: RFC 2684 (bridged mode)

### Gateway and OLT Compatibility

- > Alcatel 7340 P-OLT
- > General Bandwidth G6 voice gateway

### Voice Parameters

- > FXS loop start
- > G.711 and G.726 (ADPCM) Voice Encoding
- > G.168 echo cancellation (16 msec)
- > Ringing: 60 VRMS, 10 REN max, 5 REN/line max
- > Impedance: 600  $\Omega$  +2.16  $\mu$ F, 900  $\Omega$  +2.16  $\mu$ F
- > Gain/Loss: +6 dB to -12 dB in 1 dB increments
- > GR-909 Metallic Loop Test Support

### ATM Traffic Management

- > Supports CBR, rt/nrt-VBR and UBR traffic classes
- > Per VC queuing
- > Buffer management:
  - early packet discard
  - partial packet discard
  - cell discard (CLP)

### ATM Adaptation

- > DS1 adaptation
- > AAL1 CES, unstructured
  - future release: structured support
- > Software configurable
- > Ethernet:
  - AAL5
  - 15 VC capacity (bridged mode)
- > Voice Adaptation
  - AAL2
  - broadband loop emulation service (BLES), ATM Forum VMOA-1.45

### Alarms

- > Battery backup
  - including visual battery replacement alarm
  - DS1
  - video

### Power

- > +48 V DC with standard AC adapter
- > Compatible with American Power Conversion (APC) CP50 integrated AC converter/charger

### Regulatory Approvals

- > USA
  - UL60950
  - FCC CFR 47, Part 15, subpart B for Class A digital devices
  - CDRH Laser Classification
  - NEBS for type 4 equipment
- > Canada
  - ICES-003 Class A digital devices

### Physical

- > Indoor or outdoor deployable
- > Locked fiber access to fiber management tray for installation and maintenance

### Dimensions

- > Height: 17.5 in. (44.45 cm)
- > Width: 14.0 in. (35.56 cm)
- > Depth: 5.0 in. (12.7 cm)
- > Weight: 16 lb (7.26 kg)

### Environment

- > Operating temp range: -40 F to 122 F (-40 C to 65 C)
- > Maximum operating altitude: 10,000 ft (3,048 m)
- > Maximum non-operating altitude: 40,000 ft (12,192 m)
- > Relative humidity (non-condensing) range: 5% to 95%

### Accessories


- > AC adapter

For more information on the Alcatel FTU solution, visit [www.alcatel.com/ftu](http://www.alcatel.com/ftu)

[www.alcatel.com](http://www.alcatel.com)

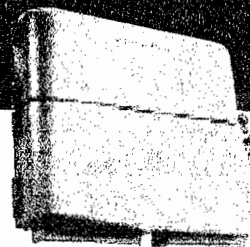
Alcatel and the Alcatel logo are registered trademarks of Alcatel. All other trademarks are the property of their respective owners. Alcatel assumes no responsibility for the accuracy of the information presented, which is subject to change without notice. © 06 2004 Alcatel. All rights reserved. 3CL 00469 0416 TQZZA Ed.02 18272





## Alcatel 7340 H-ONT

Home Optical Network Terminal (ANSI Version) | FGU 2.0, 2.1



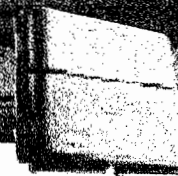
The Alcatel 7340 Home Optical Network Terminal (H-ONT) is a key component of the Alcatel 7340 Fiber to the User (FTTU) solution. Capitalizing on Alcatel's leadership in wireline broadband access technology, the Alcatel 7340 FTTU platform enables service providers to cost-effectively deliver high revenue, next generation broadband services today, over a single optical fiber. This standards-based device supports multiple voice and data networking interfaces, dedicated video overlay for analog and digital cable television (including HDTV), direct broadcast satellite, and baseband digital video.

The Alcatel FTTU 7340 H-ONT easily installs on the outside of a customer's dwelling, serving as a demarcation point between network and subscriber interfaces.

### Key Features

- > FSAN standards compliant triple play (voice, data, video) solution
- > Cost-effective services over a single optical fiber
- > Fully interoperable with existing home wiring and CPEs (telephones, PC Ethernet, TV coax)
- > Quality of service (QoS) for all services and Dynamic Bandwidth Assignment (DBA) for increased throughput
- > Compact size increases installation options
- > Remotely managed by the Alcatel 5526 Access Management System (AMS) or Alcatel 5528 Web-based Access Manager (WAM)
- > Works in conjunction with the Alcatel 7340 Packet Optical Line Terminal (P-OLT) to provide a complete optical access solution
- > Environmentally hardened for deployment outdoors in extreme conditions

Installs easily — ideal for initial rollout and widespread deployment



## Technical Summary

### Management

- > Power, PON, Link status LEDs
- > ITU G.983.2 management support for configuration and performance monitoring
- > Managed by the Alcatel 5526 AMS

### Network Interface

- > 622/155 PON interface
  - single mode fiber (SC/APC connector)
- > ITUT G.983.1 and G.983.3 compliant
- > Supports enhanced wavelength for video applications
- > 32 ONTs supported per PON

### Service Interfaces

- > 1 10/100Base-T Ethernet interface
  - CAT3 or better UTP Cable (RJ-45 connector)
- > POTS Voice
  - 4 plain old telephone service (POTS) ports (Screw terminal connectors)
- > Video
  - single port (75  $\Omega$  F connector) for RF video delivery

### Gateway and OLT Compatibility

- > Alcatel 7340 P-OLT
- > General Bandwidth G6 voice gateway

### Voice Parameters

- > Loop start line
- > G.711 and G.726 (ADPCM) voice encoding
- > G.168 echo cancellation
- > Ringing: 40 VRMS, 5 REN/line max
- > Off-hook DC current: 25 mA
- > Line Impedance: 600  $\Omega$ , 500  $\Omega$  DC Supervisory range

### ATM Traffic Management

- > Supports CBR, rt/nrt-VBR and UBR traffic classes

### ATM Adaptation

- > Ethernet:
  - AAL5
  - 4 VC capacity (RFC 2684 bridged mode)
- > Voice adaptation:
  - AAL2
  - broadband loop emulation service (BLES), ATM Forum VMOA-145

### Alarms

- > Battery backup:
  - status (On/Low/Faulty/Missing) – can transmit the status to P-OLT

### Power

- > Local powering
- > Compatible with American Power Conversion (APC) integrated AC converter/charger
- > 120 V AC input
- > 12 V DC output – low voltage
- > Up to 8 hours battery backup
- > Commercially sealed lead acid battery
- > Visual status indicator
- > UL Certified
- > Battery status monitored by Alcatel 5526 AMS

### Regulatory Approvals

- > UL
- > FCC Part 15, subpart B, Class A
- > NEBS

### Physical

- > Indoor or outdoor deployable
- > Locked fiber access for installation and maintenance

### Dimensions

- > Height: 12.1 in. (30.73 cm)
- > Width: 13.0 in. (33.02 cm)
- > Depth: 3.875 in. (9.84 cm)
- > Weight: 8 lbs (3.63 kg)

### Environment

- > Operating temp range:
  - -40 C to 46 C (-40 F to 115 F) with max solar load]
  - -40 C to 60 C (-40 F to 140 F) without solar load
- > Maximum operating altitude: 10,000 ft (3,048 m)
- > Maximum non-operating altitude: 40,000 ft (12,192 m)
- > Relative humidity (non-condensing) range: 5% to 95%

For more information on the Alcatel FTU solution, visit [www.alcatel.com/ftu](http://www.alcatel.com/ftu)

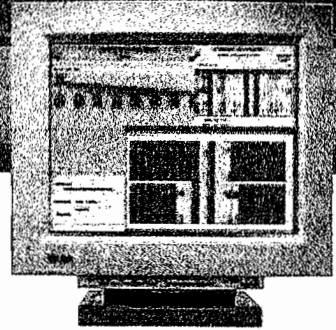
[www.alcatel.com](http://www.alcatel.com)

Alcatel and the Alcatel logo are registered trademarks of Alcatel. All other trademarks are the property of their respective owners. Alcatel assumes no responsibility for the accuracy of the information presented, which is subject to change without notice. © 06 2004 Alcatel. All rights reserved. 3CL 00469 0185 TQZZA Ed.04 18273



## Alcatel 5526 AMS

### Access Management System



The Alcatel 5526 Access Management System (AMS) is the premiere ANSI element manager that delivers a complete management solution for Alcatel Litespan, Advanced Services Access Manager (ASAM), and Fiber to the User (FTTU) platforms. It allows for full remote support of network elements, including provisioning, software downloads, database backup and restore, fault management, disaster recovery and performance monitoring. The Alcatel 5526 AMS provides an intelligent graphical user interface (GUI) to translate simple point-and-click actions to complex management information base (MIB) variables and sequences of transaction language 1 (TL1) or simple network management protocol (SNMP) commands.

The Alcatel 5526 AMS provides full remote equipment and cross-connection provisioning for narrowband, wideband, and broadband services, remote database backup and restore functions, and remote software downloads. Products that

are geographically dispersed far from the central office (CO) can be managed from one location. Once a product is installed, this remote functionality allows 100 percent of the local functionality to be accessible remotely. This can reduce costly site visits with scheduled database backup and software downloads.

The Alcatel 5526 AMS can perform remote fault management, including 24 hour/day remote alarm surveillance with logs and alarm history. This includes real-time remote alarm and event monitoring with user-defined alarm views.

Daily performance monitoring can be enabled from the Alcatel 5526 AMS as well as performance history, traffic monitoring, test management and diagnostics. Quality of service (QoS) levels for digital subscriber lines (DSL) can also be remotely monitored, increasing the standard of performance for enhanced services.

Enables remote provisioning, software downloads, database backup and restore, fault management, disaster recovery and performance monitoring.





Through the Alcatel 5526 AMS security management, security administrators can create user profiles and provide users with different levels of access for different functions or portions of the network. Security administrators can change system passwords remotely and en masse in the event of a security breach. Examples of security levels include: no access, network read, drop provisioner, and system provisioner. A user could have system provisioning ability for asymmetric digital subscriber line (ADSL) channel units, for example, but no access to download software.

Large-scale DSL deployments require equipment scalability and dependability, with a disaster recovery guarantee. The Alcatel 5526 AMS has the ability to scale and offers one-to-one redundancy with redundant wide area network (WAN) active-standby server configurations, providing service on the active standby server within eight minutes, regardless of database size.

## Feature Summary

- > Functions as a stand-alone element manager or as part of a layered telecommunications management network (TMN) application
- > Intelligent GUI
- > Supports remote configuration, fault, performance and security management
- > UNIX-based client-server architecture

- > Scales from 10 systems with 2 users to 2,500 systems with 100 users
- > Optimized for DSL support
- > Automatically detects the presence of pre-assigned equipment and configurations upon physical installation
- > Alarms and status reporting with categorized alarms and lists of active alarms
- > Allows TL1 cut-through and flow-through provisioning

### Compatibility

- > Alcatel 2000/2012 Litespan
- > Alcatel 7201 Litespan
- > Alcatel 1000 ASAM
- > Alcatel 7300 ASAM
- > Alcatel 7301 ASAM
- > Alcatel 7340 FTU

### TMN

Based on the TMN model as defined by the International Telecommunications Union in the M.3000 recommendation series

### Supported Interfaces

#### Litespan

- > TL1 over X.25 through the communications interface unit
- > TL1 over TCP/IP through the Ethernet interface unit

#### ASAM

- > SNMP over user datagram protocol/Internet protocol (UDP/IP)
- > SNMP over ATM through a peripheral component interconnect (PCI) ATM network interface card
- > SNMP over a 9600-baud direct serial port connection

#### FTU

- > SNMP over UDP/IP
- > SNMP over a 9600-baud direct serial port connection

### Northbound communication interfaces

- > Other operation support system/network managers (OSS/NMs)
- > TL1 over TCP/IP

### Minimum Server Hardware Requirements\*

- > Sunblade 150
- > 1 SPARC 650-MHz or greater CPU
- > 2 Gb RAM
- > 40 Gb hard disk
- > 10/100Base-T connection
- > CD ROM
- > Video card
- > 20 in. Sun color monitor (optional)

If the Alcatel 5526 AMS database is created on a single processor Sun system, it cannot migrate directly to a multiple processor server.

### Server Capacity

With the hardware listed below, the Alcatel 5526 AMS will support the following number of concurrent users and systems:

- > Up to 10 systems and 5 users:  
Sun Ultra 60 or SunFire 280R with 1 CPU
- > Up to 250 systems and 10 users:  
Sun Ultra 60 or SunFire 280R with 2 CPUs
- > Up to 1,500 systems and 100 users:  
Enterprise 4500 with 8 CPUs
- > Up to 2,500 systems and 100 users:  
Enterprise 4500 with 12 CPUs (clustered)
- > Up to 2,500 systems and 100 users:  
SunFire 4800 with 8 or more CPUs

### Protection Scheme

Full system protection through disk mirroring, tape backup and one-to-one redundancy

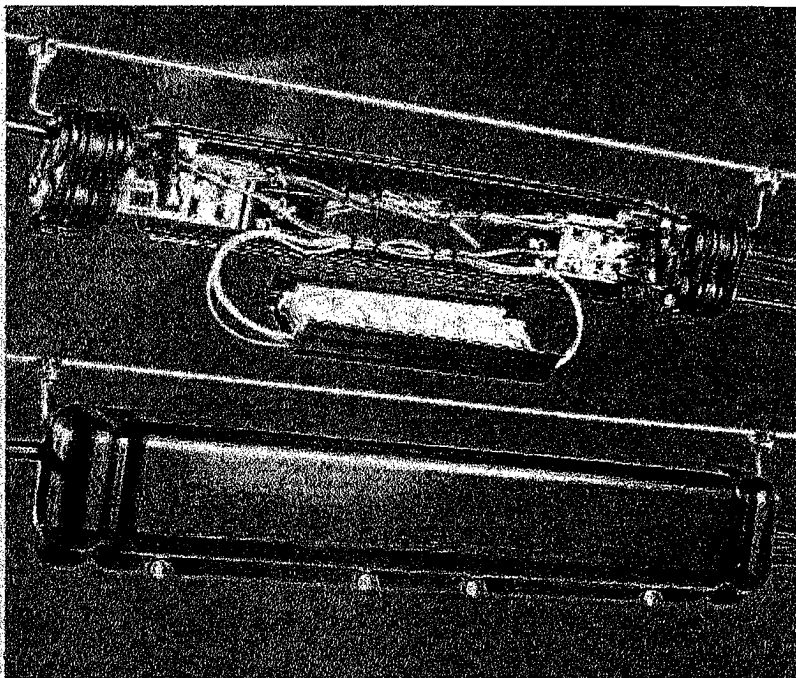
\* The minimum hardware requirements will support only up to 10 Alcatel Litespan/ASAM/FTU systems and 2 users.

## Draka Comteq 6614 Aerial Fiber Optic Splice Closure

Draka Comteq's solution for an aerial in-line re-enterable fiber optic splice closure is the 6614 aerial fiber optic splice closure. This closure is designed for strand-mounted Fiber-To-The-Home (FTTH) applications.

The closure combines Draka Comteq's sealing technology and fiber management systems in a strong, rodent-proof outer body.

Draka Comteq's aerial closures and organizers are compatible with all loose buffer tube and central core tube cables with either stranded or ribbon fiber.

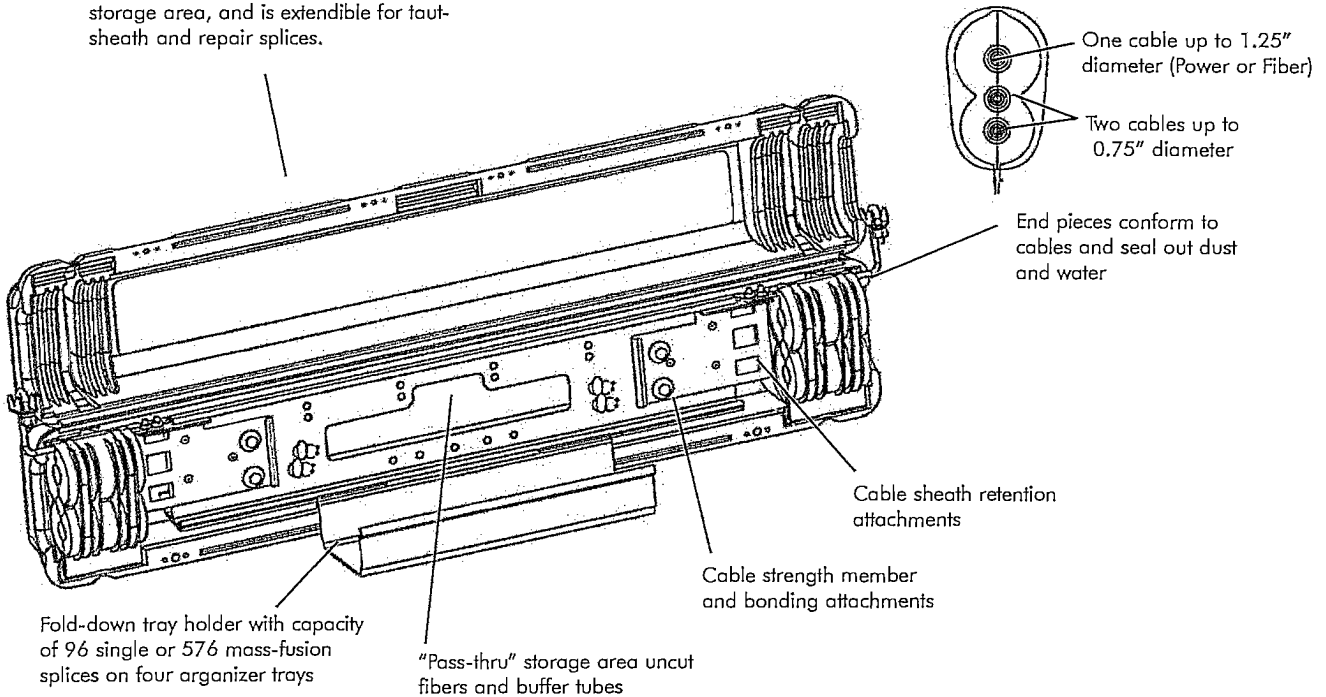


# Draka Comteq 6614 Aerial Fiber Optic Splice Closure

## Optical Specifications

### Product Features

Closure body is rodent-proof and withstands heavy impact forces. It is also fully removable for 360° access to the splice and slack storage area, and is extendible for taut-sheath and repair splices.



## Ordering Selection Guide

### Closure Kits

6614 Complete closure kit with one organizer tray. (SM6 splice modules)

### Tray Kits

6614 Tray 12 Splice tray with two SM6 splice modules and cover.

6614 Tray 16 Splice tray with two SM8 splice modules and cover.

6614 Tray 24 Splice tray with two SM12 splice modules and cover.

### Other Kits

6614 Extension Components to extend closure for long repair splices.

Taut Sheath Components for taut sheath (no slack) splicing.

### For Additional Information

[www.drakacomteq.us](http://www.drakacomteq.us)

Americas .....+1 828 459 9787

.....+1 800 879 9862

Fax .....+1 828 459 8444





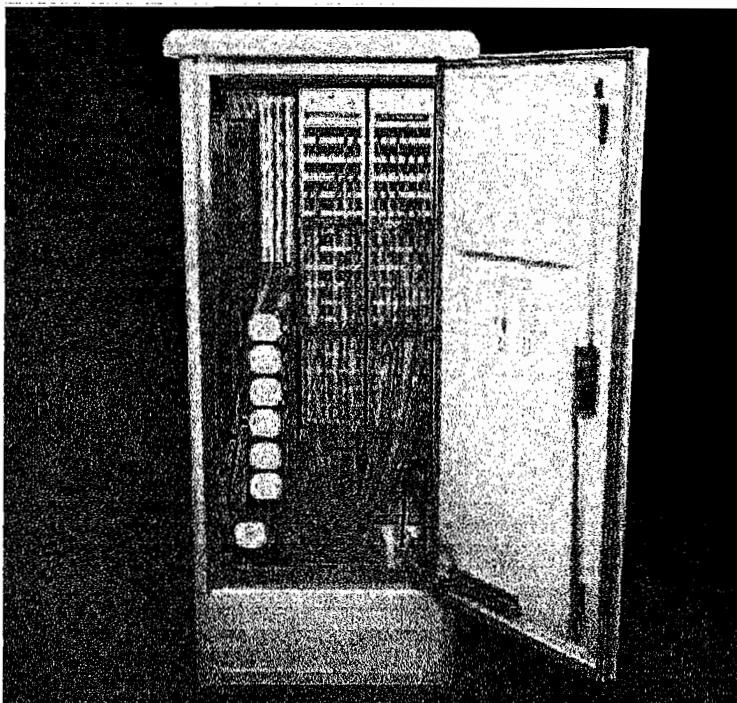
# Draka Comteq 6621 Centralized Splitter Cross Connect Cabinet

The Draka Comteq 6621 cross connect cabinet platform provides a robust splitter management system for storing and managing customer connectivity typically found in PON networks.

A removable modular patch panel design enables distribution fibers to be assigned to customers during initial construction. Splice trays located behind the patch panel connect pre-routed IFC cables to the distribution fibers eliminating the need for extra closures.

Splitters are added as customers are provisioned and signed up for service. This allows for incremental growth as the revenue stream expands. The system also provides 100% utilization of electronic equipment located in the central office.

The result is a plug and play design that provides a reliable and secure access point ideally suited for overbuilt FTTH PON networks.



## For Additional Information

[www.drakacomteq.us](http://www.drakacomteq.us)

Americas .....+1 828 459 9787

.....+1 800 879 9862

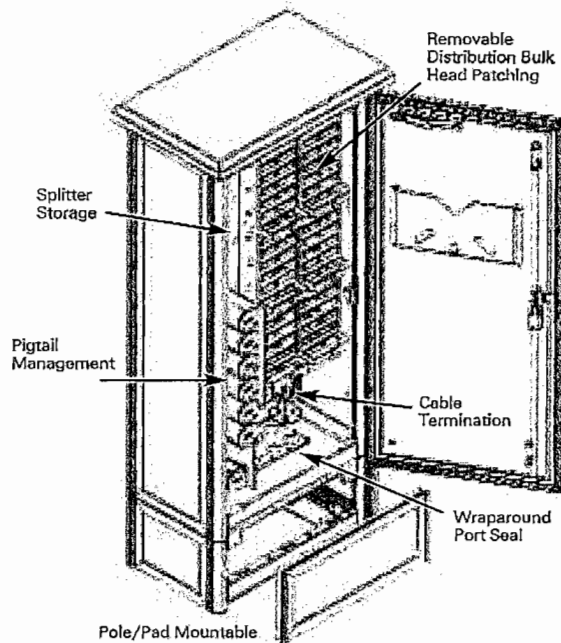
Fax .....+1 828 459 8444



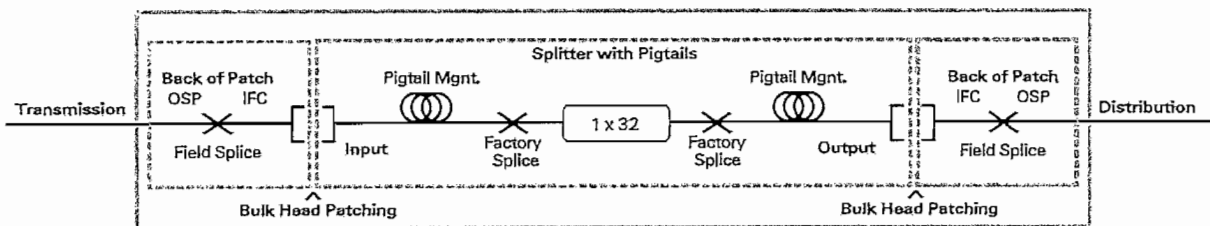
# Draka Comteq 6621 Centralized Splitter Cross Connect Cabinet

## Product Features

- Plug and play splitter management
- Add splitters incrementally based on take rate
- Passive cooling from dual wall construction
- Removable bulk head simplifies construction
- Cable entrance service door
- NEMA 4X outdoor rated construction
- IFC color code maintained to rear of bulk head
- Full Access via front of cabinet
- Fold down bulkhead for maintaining connectors
- Hinge design for maintenance with live fibers
- Separate access for spliced fibers
- Reliable customer ID via fixed bulkhead
- Maximum of 30 unassigned pigtails
- Intuitive pigtail management
- Factory applied "customizable" label system



## Network Function



## Product Information

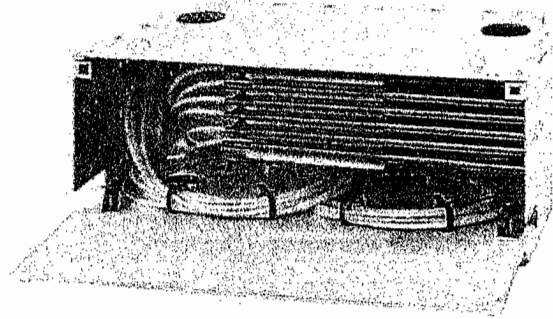
Primary Function OLT/Splitter connectivity management point for PON network

Cabinet Capacity 8 with 0.95" ma, diameter  
Cable Ports 216 SC/UPC or SC/APC ports with pre-routed terminated stubs  
Patch Panel: 288 900u to 250u fusion splices  
Splice Capacity: 3m internally spliced to OSP distribution and feeder cables  
Stub Cable: Pad (standard) or Pole (with optional mounting kit)

Dimensions: 60" x 24" x 14" H x W x D  
Weight: 275 Lbs.

# Draka Comteq 6733 Universal Splice Panel

The Draka Comteq 6733 Universal Splice Panel provides splicing capability for up to 144 fibers. It is designed to mount directly below the Draka Comteq 6731 Universal Patch Panel to minimize use of rack space. An industry standard design makes this unit compatible with existing panels and frames manufactured by other vendors for mix-and-match applications. This module can be installed in standard 19" or 23" frames in central offices, customer premises, controlled environmental vaults or other remote locations.



Note: Draka Comteq reserves the right to change specifications without prior notice

Features	Benefits
Accepts all standard connector and cable types	> Compatible with existing from other manufacturers
High density	> Uses minimum rack space
Available pre-wired with the 900 mm color-coded pigtailed running directly from the patch panel into each splice tray	> Saves on installation time and cost

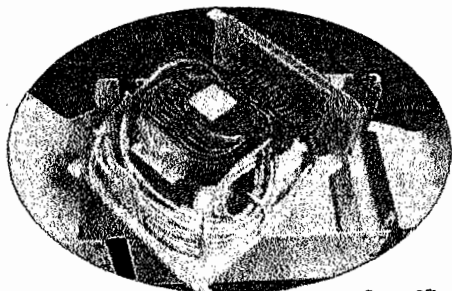
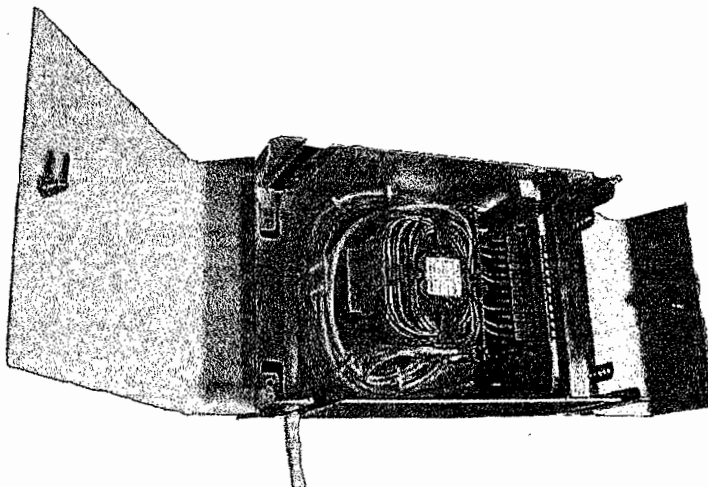
## Specifications

Capacity	Dimensions (H x W x D)	Shipping Weight
Up to 144 fiber splices	7" x 17" x 11" ((178mm x 432mm x 279mm))	10 lbs (4.5 kg)



# Draka Comteq 6752 Building Distribution Cabinet

The Draka Comteq 6752 Building Distribution Cabinet (BDC) is a wall-mounted unit used to patch, or patch and splice fibers. It accommodates up to 72 connections and can use a wide range of connector types. Cabinets can be ganged together to accommodate capacities greater than 72 connections. The cabinet includes lockable provider-side and customer-side doors, each with a different lock. Buffer tubes and pigtails can be neatly coiled beneath the splice trays and routed to the adapter plate. The BDC includes a back-plate that supports the cable tie-down, internal fiber management, splice trays, and an adapter plate. In the 36 and 72 fiber version the entire back-plate can be removed from the wall-mounted box and placed on a table for comfortable splicing. This is a welcome improvement to old style wall-mount boxes that require splicers to work on their feet and within the confines of a box.



Features	Benefits
Removable back-plate enabling cable tie-down, splice trays and adapter plate to be removed from the box and placed on table	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Easy to use</li> <li>&gt; More comfortable splicing</li> </ul>
Grounding lugs allow cables with metallic components to be grounded	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Promotes ease of use and safety</li> </ul>
High density, compact and uncrowded	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Space and cost savings</li> <li>&gt; Ease of installation and use</li> </ul>
Available with pre-connectorized cable stubs	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Easy, quick installation</li> </ul>
Accepts all standard cable and connector types	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Compatible with existing plant</li> <li>&gt; Easy to use</li> </ul>

## Specifications

Capacity	Dimensions (H x W x D)	Shipping Weight
12 connections and splices	10"x12.24"x3.61" (254mmx311mmx92mm)	6 lbs (2.7 kg)
36 connections and splices	10"x16"x5 3/4" (254mmx406mmx146mm)	10 lbs (4.5 kg)
72 connections and splices	19.75"x18"x5 3/4" (502mmx457mmx146mm)	13 lbs (5.9kg)

Draka Comteq reserves the right to change specifications without prior notice

www.DrakaComteq.us



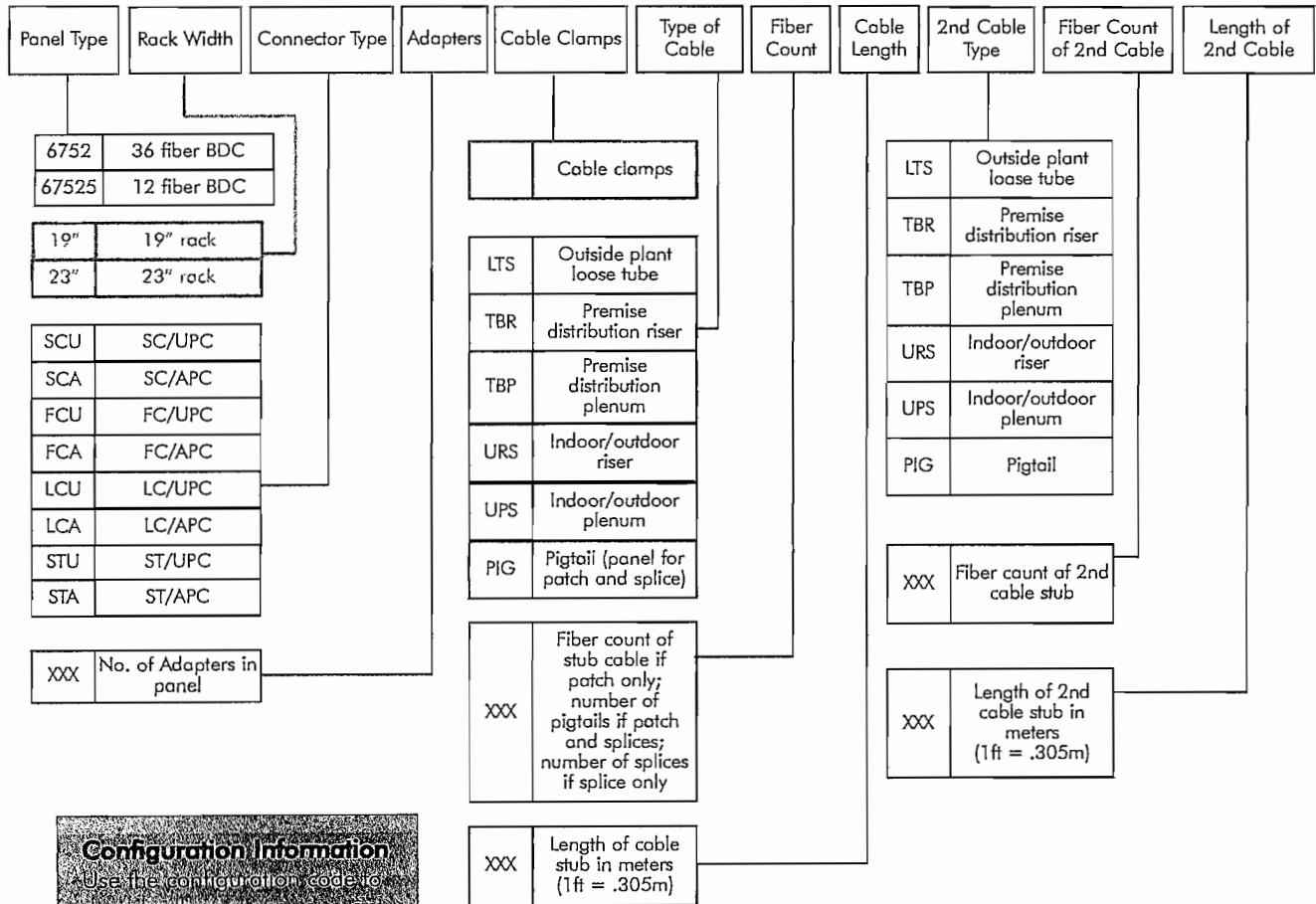
**Draka Comteq**



# Draka Comteq 6752 Building Distribution Cabinet

## Examples

Description	Configuration Code
BDC will contain SC/UPC connectors. 36 splices will be made in the box.	6752-0-SCU-36-0-PIG-36-0-0-0-0
BDC will contain SC/UPC connectors. The BDC will come complete with a pre-connectorized 20m 24-fiber riser cable.	6752-0-SCU-24-0-TBR-24-20m-0-0-0
BDC will contain SC/UPC connectors. It will be used to splice 6 fibers, but the customer will provide pigtails.	67525-0-SCU-6-0-0-0-0-0-0-0



### Configuration Information

Use the configuration code to describe the options you want with each distribution cabinet. Enter a zero if the option is not applicable. Options not represented in the configuration code may be available; contact customer service to inquire about special options.

### For Additional Information

[www.drakacomteq.us](http://www.drakacomteq.us)

Americas .....+1 828 459 9787

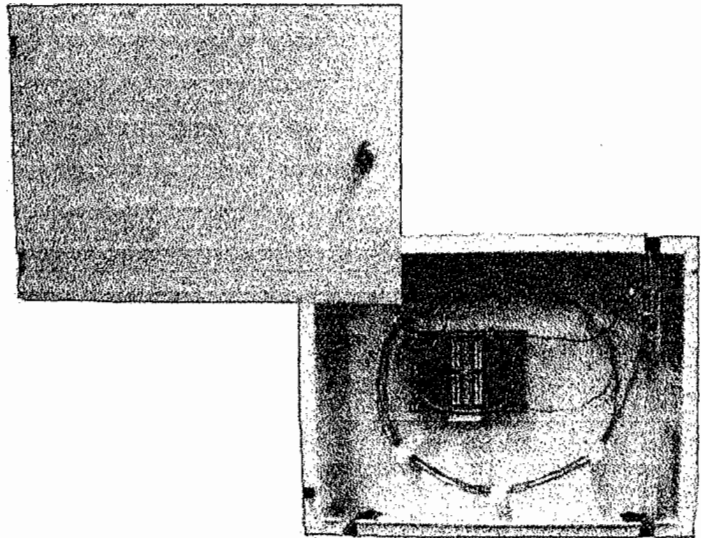
.....+1 800 879 9862

Fax .....+1 828 459 8444

# Alcatel 6755 Wall Mount Splice Cabinet

The 6755 Wall Mounted Splice Cabinet provides storage for large quantities of fusion splice cables. These cabinets are constructed from aluminum and are designed for indoor use to join outside plant cables with various styles of indoor cable. The cabinet is designed to accommodate multiple cable jackets through dual top and bottom entry ports. Each cabinet includes various user-friendly attributes including: lockable T-handle door, removable door at 90 degrees to cabinet body, and large multiple grounding studs with nuts.

The 6755 Wall Mounted Splice Cabinet is available in both 144 and 288 fiber splice configurations, which utilize 24 position splice trays with ample slack storage capacity. Both size cabinets have multiple tray positions for optimal bend radius control.



Features	Benefits
Removable door	> Ease of access and more comfortable splicing
Grounding lugs allow cables with metallic components to be grounded	> Promotes ease of use and safety
Accepts all standard indoor or outdoor cable types	> Dual entry ports located on top and bottom of cabinet
Maximum bend radius control at all cable exit ports	> Quick and easy to use > Excellent cable management

Note: Alcatel reserves the right to change specifications without prior notice

## Specifications

Part Number	Item Description	Dimensions (H x W x D)	Shipping Weight
10026370	144f Wall Mount Splice Cabinet	24" x 19" x 6.5" 610mm x 483mm x 165mm	20lbs (9 kg)
10026371	288f Wall Mount Splice Cabinet	25.75" x 24.5" x 6.25" 654mm x 622mm x 159mm	25lbs (11 kg)
20017070	24 Position Fusion Splice Tray	8"x5.75"x0.5" 203mm x 146mm x 13mm	2ozs (.28 kg)

[www.alcatel.com](http://www.alcatel.com)

Alcatel and the Alcatel logo are registered trademarks of Alcatel. All other trademarks are the property of their respective owners. Alcatel assumes no responsibility for the accuracy of the information presented, which is subject to change without notice. © 01 2004 Alcatel. All rights reserved. 3CL 00469 0000 TQZZA Ed.01 10000

## For Additional Information

[www.alcatelcable.com](http://www.alcatelcable.com)

Americas .....+1 828 459 9787

.....+1 800 879 9862

Fax .....+1 828 459 8444



# Draka Comteq 6791 Patchcords and Pigtails

Draka Comteq optical patchcords are manufactured to rigorous quality standards to assure a high degree of precision. A fully automated polishing process ensures optimum geometries for radius of curvature, apex offset and fiber undercut tolerances. Tight tolerance control results in reliable low-loss connections and reconnections over the long term and under a wide range of operating conditions. All Draka Comteq patchcords use singlemode fiber optic cable and are available in various cable diameters.

## SC-UPC

- Compatible with JIS specification
- Stable, pull-proof
- Push-pull mating
- 2.5 mm zirconia ceramic ferrule
- Keyed for repeatable connections
- Widely used for telecommunications

## SC-APC

- Same mechanical design as SC/UPC
- Low return loss needed for CATV applications
- Physical contact polish at 8 degrees

## LC-UPC

- LAN and high-density applications
- 1.25 mm zirconia ceramic ferrule
- RJ-45 latching style
- Duplex patchcords meeting simplex version specifications
- Hybrid assemblies available

## FC-APC

- Compatible with JIS specification
- Stable, pull-proof
- 2.5 mm zirconia ceramic ferrule
- Keyed for repeatable connections

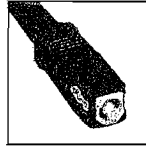
## FC-UPC

- Same mechanical design as FC/UPC
- 2.5 mm zirconia ceramic ferrule
- Physical contact polish at 8 degrees

## ST-UPC

- LAN, premises and telcom applications
- Fully compatible with all ST connector products
- Bayonet style twist coupling
- 2.5 mm zirconia ceramic ferrule
- Keyed for repeatable connections

SC-UPC



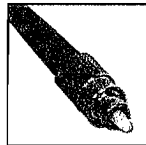
SC-APC



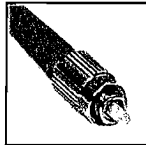
LC-UPC



FC-UPC



FC-APC



ST-UPC



Features	Benefits
High-quality automated polishing process	> Optimum geometries for better connection and reconnection performance
Tight tolerance control	> Reliable, low-loss connections and reconnections
Wide range of connectors	> Support multiple applications including telecommunications, CATV, LAN

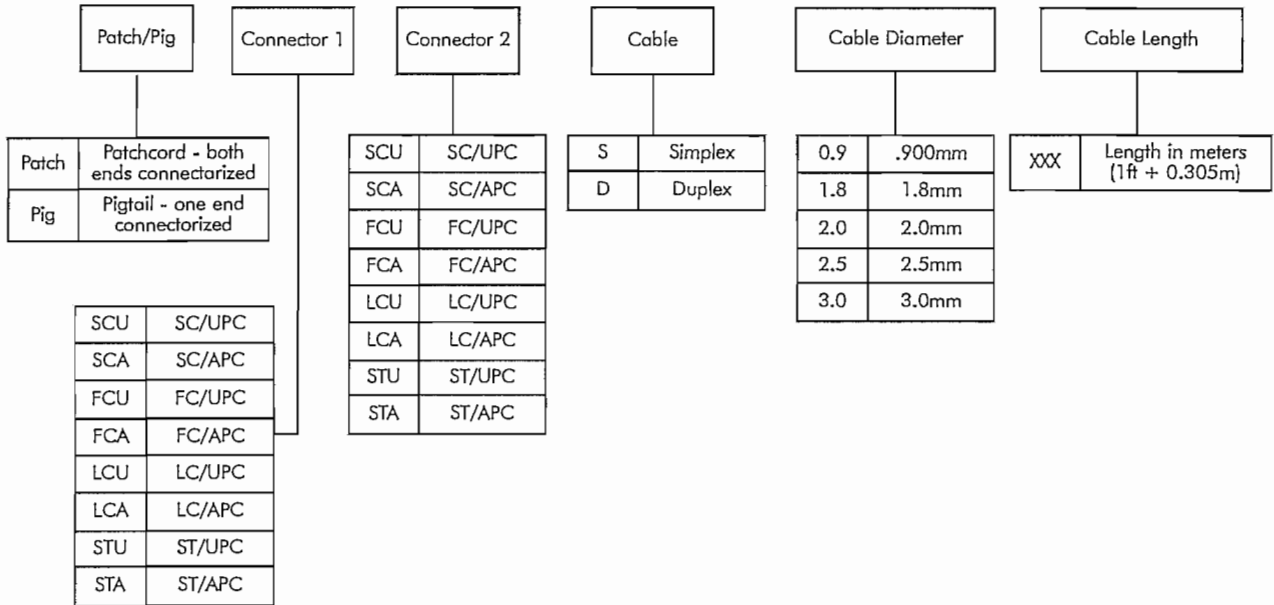
Note: Draka Comteq reserves the right to change specifications without prior notice

## Polish Specifications

Polish Type	Insertion Loss	Back Reflection	Connector Type
Ultra Polish Physical Contact (UPC)	$\leq 0.25$ dB per mated pair	$\leq -55$ dB per mated pair	SC, LC, FC, ST
Angled Polish Physical Contact (APC)	$\leq 0.5$ dB per mated pair	$\leq -65$ dB per mated pair	SC, FC



# Draka Comteq 6791 Patchcords and Pigtails



## Examples

Description	Configuration Code
Patch cord with SC/UPC connectors on a simplex cable that is 1.7mm in diameter and 5m long.	Patch-SCU-SCU-S-1.7-5
Pigtail with LC/UPC connector, 900um in diameter and 2m long	Pig-LCU-0-S-0.9-2

**Configuration Information**

Use the configuration code to describe the options you want with each patchcord or pigtail. Enter a zero if the option is not applicable. Options not represented in the configuration code may be available; contact customer service to inquire about special options.

### For Additional Information

[www.drakacomteq.us](http://www.drakacomteq.us)

Americas .....+1 828 459 9787

.....+1 800 879 9862

Fax .....+1 828 459 8444



# Draka Comteq 6793 Wideband Couplers/Splitters in Trays

Singlemode wideband couplers/splitters are branching devices available in a wide range of styles and sizes to split and combine light.

These devices are integrated into the Draka Comteq range of fiber-optic splicing trays. This allows for easy integration in enclosures, wall-mounted boxes, or distribution cabinets.

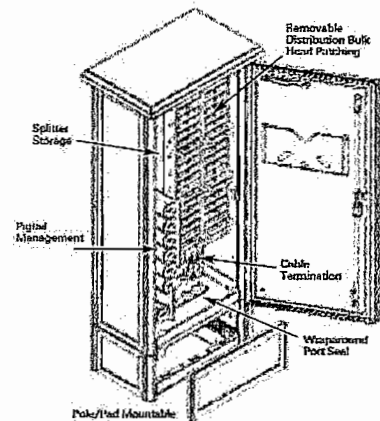
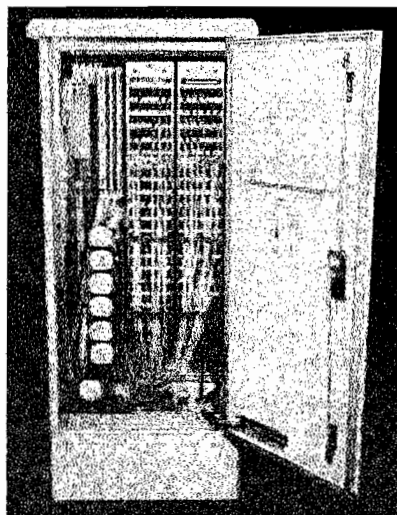
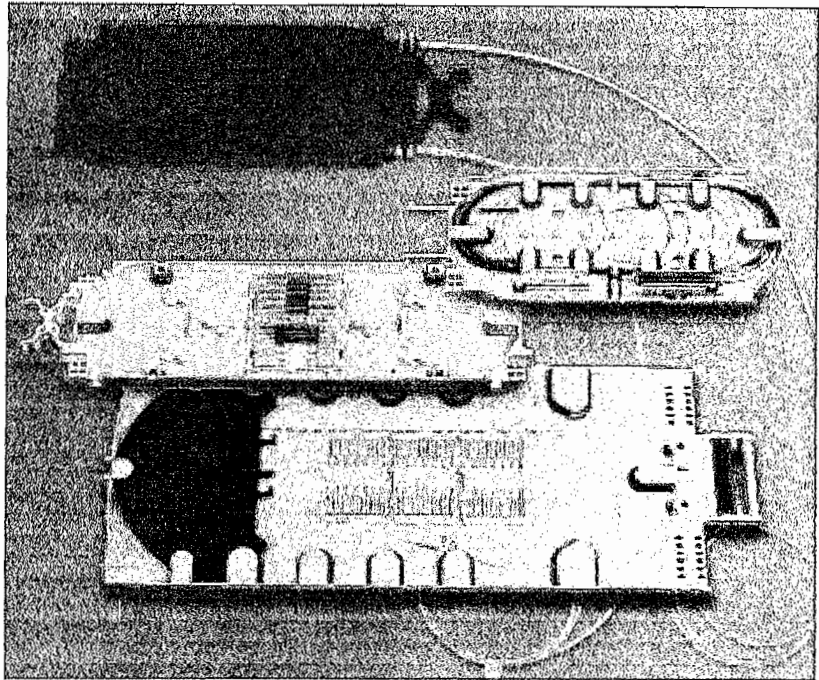
## ADVANTAGES

- Consistent performance
- Low optical loss
- Low polarization sensitivity
- Excellent mechanical and environment of characteristics
- Fast installation and commissioning

## APPLICATIONS

- Combining and splitting light signals
- Central office/headend
- Aerial pole
- LAN
- Network monitoring

The splitter components are based on FBT (fused bionic tapered) technology for low split ratios. For higher split ratios planar waveguide technology is used. These components are placed in a standard protective sealing to ensure correct operation in outside plant conditions.



Draka Comteq 6621 Outdoor Distribution Cabinet  
Shown is an example of how the couplers  
and splitters can be used in an application.

# Draka Comteq 6793 Wideband Couplers/Splitters in Trays

## Ordering Specifications

6793 X X X X X XX

### Tray type

- 1 6793-A-TRAY-24, splice modules in the middle of the tray
- 2 6793-B-TRAY-24, splice modules in the middle of the tray
- 3 6793-D-TRAY-72, splice modules in the middle of the tray
- 4 6793-A-TRAY-S24, splices near the edges of the tray
- 5 6793-B-TRAY-S24, splices near the edges of the tray
- 6 6793-A-TRAY-24, "black box" concept

- A Splitter grade A  
P Splitter grade P

### Number of integrated splitters

The maximum number of integrated splitters is for each configuration (tray type, splitter and splitter grade) indicated in the table underneath.

Tray	1		2		3		4		5		6	
	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P
1x2	4	-	4	-	12*	-	4	-	4	-	16	-
2x2	3	-	3	-	9	-	2	-	2	-	16	-
1x4	1	☎	1	☎	4	2	2	☎	2	☎	4	2
2x4	-	☎	1	☎	4	2	2	☎	2	☎	4	2
1x6	-	-	1	-	2	-	1	-	1	-	3	-
2x6	-	-	1	-	2	-	1	-	1	-	3	-
1x8	-	☎	1	☎	2	2	1	☎	1	☎	2	2
2x8	-	☎	1	☎	2	2	1	☎	1	☎	2	2
1/2x10	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
1/2x12	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
1/2x16	-	☎	-	☎	1	2	-	☎	-	☎	-	2
1/2x32	-	☎	-	☎	1	1	-	☎	-	☎	-	1

- \* If number of integrated splitters is 10, use A in name string  
If number of integrated splitters is 11, use B in name string  
If number of integrated splitters is 12, use C in name string

☎ Call Customer Service for more information

### Performance specifications

Refer to the specifications RUD-5257 (grade A) and RUD 5330 (grade P) for performance information

### Notes

- Refer to the Draka Comteq trays ordering guide for tray dimensions
- All trays are provided with holders for heat-shrinkable splice protectors to splice the incoming fibers.
- The Draka Comteq "black box" concept and therefore does not allow splicing the in-and-out going fibers on this tray.
- Pre-installed tubes will route these fibers to another tray in the closure box.

**Example:** Draka Comteq D-Tray with 8 A grade 1x2 splitters with symmetrical split ratio (50/50)

Sample Number: 6796-3-A-8-1-2-00

### Split ratio

- 00 Symmetrical
- 05 5/95, only available for 1x2 and 2x2 splitters
- 10 10/90, only available for 1x2 and 2x2 splitters
- 15 15/85, only available for 1x2 and 2x2 splitters
- 20 20/80, only available for 1x2 and 2x2 splitters
- 25 25/75, only available for 1x2 and 2x2 splitters
- 30 3/70, only available for 1x2 and 2x2 splitters
- 35 35/65, only available for 1x2 and 2x2 splitters
- 40 40/60, only available for 1x2 and 2x2 splitters
- 45 45/55, only available for 1x2 and 2x2 splitters

### Number of outputs per splitter

- 2 ...x2 splitter
- 3 ...x3 splitter
- 4 ...x4 splitter
- 6 ...x6 splitter
- 8 ...x8 splitter
- A ...x10 splitter
- C ...x12 splitter
- G ...x16 splitter
- W ...x32 splitter

### Number of inputs per splitter

- 1 1x...Splitter
- 2 2x...Splitter

### For Additional Information

www.drakacomteq.us

Americas .....+1 828 459 9787

.....+1 800 879 9862

Fax .....+1 828 459 8444

## **ANEXO 4**

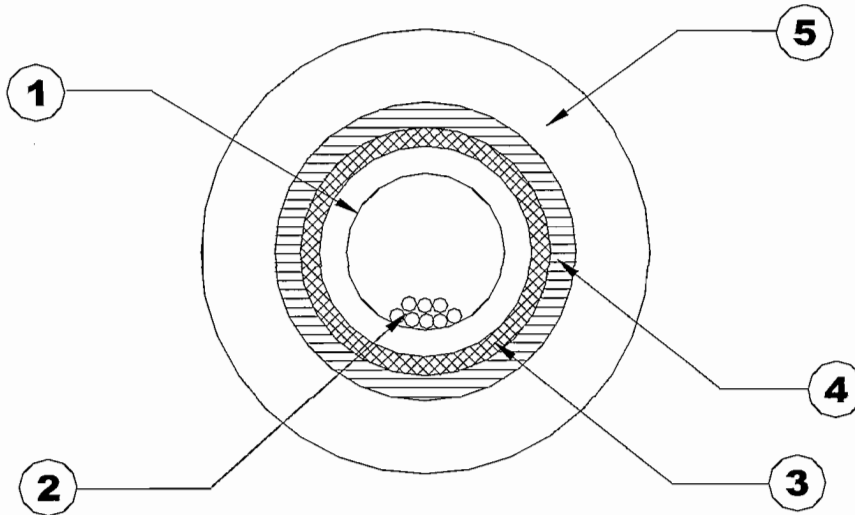
### **CABLES DE FIBRA ÓPTICA**

# OPTRAL

## TECHNICAL SPECIFICATION FOR CABLES TYPE KSP01 / KST01 / DSP01 / DST01

Reference: ET.87.502 / Edition: 01/2005

### ANNEX 2. CABLE DRAWING



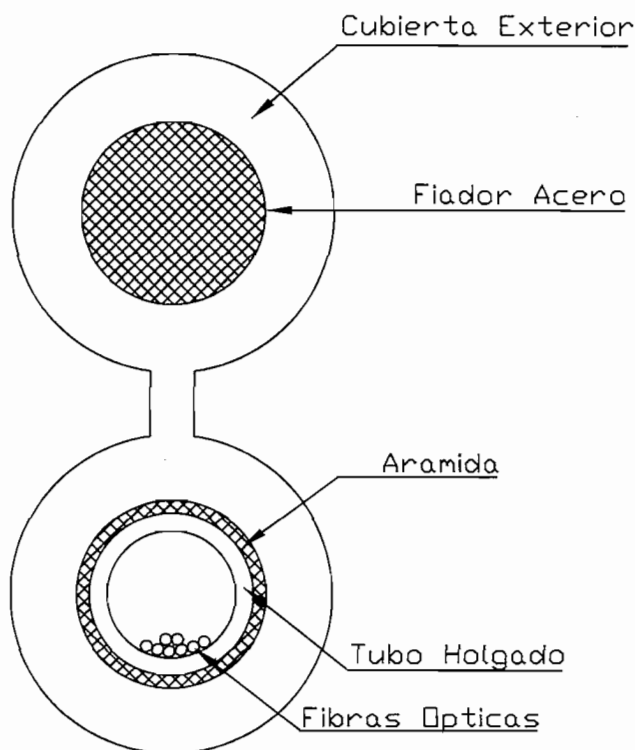
### CABLE DESCRIPTION

- 1 = Central Loose Tube (4.0 mm)
- 2 = Fibre Optics (1)
- 3 = Strength Members
- 4 = Corrugated Steel Armouring
- 5 = Outer Jacket

(1) Red - Green - Blue - Yellow - Grey - Violet  
Brown - Orange - White - Pink - Black - Natural

Dibujo NO a escala

# CABLE AUTOSOPORTADO CAM - Figura 8



## DESCRIPCIÓN CABLE

- De 1 a 12 Fibras Ópticas
  - Construcción = Tubo Holgado (Relleno Gel)
  - Identificación Fibras por Colores (1)
  - Elemento Autosoportante = Fiador Acero 4 mm
  - Elementos Tracción = Aramida
  - Cubierta Exterior = Polietileno Lineal Alta Densidad (PEHD)
  - Color Cubierta = Negro
  - Diámetro Exterior = 16 x 7.0 mm
  - Peso = 182 Kg/Km
  - Radio Curvatura = 20 x Diámetro Exterior (s/ EN 187000 - 513)
  - Ciclo Térmico = -20°C a +70°C (s/ EN 187000 - 601)
  - Tracción = 3000 N (s/ EN 187000 - 501)
  - Resistencia Aplastamiento = 2000 N (s/ EN 187000 - 504)
- (1) Rojo - Verde - Azul - Amarillo - Gris - Violeta - Marrón - Naranja - Blanco - Rosa - Negro - Natural.

### Observaciones.-

- Cable autosoportado en Figura 8 para instalaciones aéreas.
- Condiciones típicas de instalación:
  - Vano Máximo: 80 m
  - Carga Hielo: 10 mm
  - Velocidad Viento: 60 Km/h

	Fecha	Nombre	<b>OPTRAL</b>
Dibujado	12/1/2005	CRV	
Comprobado	12/1/2005	JMB	
Revisión 01/2005	Descripción CABLE AUTOSOPORTADO CAM-Fig.8		Plano ET.62.001

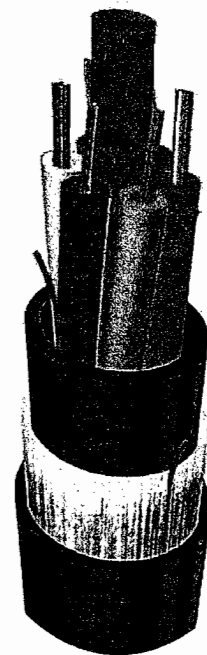
# Draka Comteq ADSS Cable

Draka Comteq All-Dielectric Self-Supporting (ADSS) cable is designed for installation on utility structures without interrupting power. The concentric design allows easy installation and minimizes wind and ice loading.

ADSS cables are custom engineered for each specific application for zero tension fiber strain under full load. Installation on high-voltage lines requires special attention to prevent dry-band arcing. With careful calculation of optimum placement on utility towers, and special track-resistant jacket materials offered by Draka Comteq, this technology is usable for line voltages of up to about 275 kV.

Draka Comteq ADSS cables are quick and easy to install using standard hardware for one-step installation methods. They are available with your choice of world-class Draka Comteq fibers including standard singlemode, Enhanced Singlemode, TeraLight™ Metro and TeraLight™ Ultra NZDSF, or a combination of these.

Features	Benefits
High density—up to 288 fibers/cable	> Space and installation cost savings
24 fibers/tube with 12-fiber binder groups for fiber counts >72	> Smaller cable diameter > Reduced wind and ice load > Smaller sag
Low fiber strain design	> Greater than 20 year design lifetime
Thermoplastic, track-resistant jacket designs available	> Improved compression performance > Mitigates dry-band arcing
Advanced "dry" water blocking materials	> Faster and cleaner handling and access to fibers in the field
Greater than 450 m (1476 ft) spans	> Installation cost savings
Uses industry standard installation hardware	> Installation cost savings
Optical fibers feature revolutionary AFC™ coating with ColorLock™ vibrancy with aging	> Fiber maintains optical performance and color



Draka Comteq optical cable products are designed to optimum performance and ease of installation. Manufactured with applicable industry standards and international specifications.

### 1. Central Strength Member

Provides tensile strength and buckling resistance

### 2. Optical Fibers

Draka Comteq's world-class color-coded singlemode optical fibers incorporate AFC™ coating with ColorLock™ for industry-leading long-term mechanical performance and color identification

### 3. Color-Coded Buffer Tubes

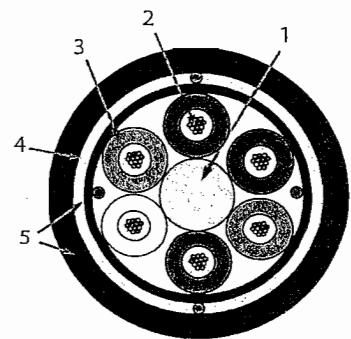
Protect fibers from tensile, thermal, and vibration loads, maintaining their optical and mechanical integrity

### 4. Aramid Strength Yarns

Provide torsionally balanced tensile strength

### 5. Outer (and Inner) Jacket

Non-reclaimed high quality polyethylene. (Single jacket designs and track-resistant jacket materials are available)



# Draka Comteq ADSS Cable

## Cable Dimensions and Properties

### Dual Jacket

Part Number	Fiber Count	Span		NESC Heavy, 1% Sag				NESC Medium, 1% Sag				NESC Light, 1% Sag			
		ft	m	Diameter		Weight		Diameter		Weight		Diameter		Weight	
				in	mm	lb/ft	kg/m	in	mm	lb/ft	kg/m	in	mm	lb/ft	kg/m
A-XX-ADS-PDPE-### 2 to72	200	62		0.53	13.5	97	144	0.52	13.2	95	141	0.52	13.2	95	141
A-XX-ADS-PDPE-###	400	124		0.55	14.0	103	153	0.53	13.5	98	146	0.53	13.5	97	144
A-XX-ADS-PDPE-###	600	186		0.57	14.5	109	162	0.55	14.0	103	153	0.54	13.7	99	147
A-XX-ADS-PDPE-###	800	249		0.60	15.2	122	182	0.56	14.2	106	158	0.55	14.0	103	153
A-XX-ADS-PDPE-###	1000	311		0.64	16.3	135	201	0.57	14.5	111	165	0.56	14.2	106	158
A-XX-ADS-PDPE-###	1200	373		0.67	17.0	147	219	0.60	15.2	122	182	0.57	14.5	110	164
A-XX-ADS-PDPE-###	1600	497						0.65	16.5	140	208	0.62	15.7	127	189
A-XX-ADS-PDPE-###	2000	622						0.69	17.5	157	234	0.65	16.5	141	210
A-XX-ADS-PDPE-### 74 to144	200	62		0.57	14.5	114	170	0.57	14.5	114	170	0.57	14.5	114	170
A-XX-ADS-PDPE-###	400	124		0.59	15.0	120	179	0.58	14.7	116	173	0.58	14.7	114	170
A-XX-ADS-PDPE-###	600	186		0.61	15.5	127	189	0.59	15.0	120	179	0.59	15.0	117	174
A-XX-ADS-PDPE-###	800	249		0.65	16.5	141	210	0.60	15.2	124	185	0.60	15.2	121	180
A-XX-ADS-PDPE-###	1000	311		0.68	17.3	154	229	0.62	15.7	130	193	0.60	15.2	124	185
A-XX-ADS-PDPE-###	1200	373		0.71	18.0	164	244	0.65	16.5	141	210	0.62	15.7	129	192
A-XX-ADS-PDPE-###	1600	497		0.77	19.6	192	286	0.70	17.8	161	240	0.67	17.0	147	219
A-XX-ADS-PDPE-###	2000	622						0.74	18.8	179	266	0.71	18.0	164	244
A-XX-ADS-PDPE-### 146 to 216	200	62		0.70	17.8	157	234	0.70	17.8	156	232	0.70	17.8	156	232
A-XX-ADS-PDPE-###	400	124		0.72	18.3	163	243	0.71	18.0	160	238	0.70	17.8	159	237
A-XX-ADS-PDPE-###	600	186		0.75	19.1	178	265	0.72	18.3	164	244	0.71	18.0	163	243
A-XX-ADS-PDPE-###	800	249		0.77	19.6	189	281	0.73	18.5	171	254	0.72	18.3	166	247
A-XX-ADS-PDPE-###	1000	311		0.80	20.3	202	301	0.76	19.3	182	271	0.74	18.8	172	256
A-XX-ADS-PDPE-###	1200	373		0.83	21.1	215	320	0.78	19.8	193	287	0.76	19.3	184	274
A-XX-ADS-PDPE-###	1600	497						0.83	21.1	215	320	0.80	20.3	202	301
A-XX-ADS-PDPE-###	2000	622						0.87	22.1	235	350	0.84	21.3	220	327
A-XX-ADS-PDPE-### 218 to 288	200	62		0.83	21.1	207	308	0.83	21.1	205	305	0.83	21.1	205	305
A-XX-ADS-PDPE-###	400	124		0.85	21.6	214	318	0.84	21.3	211	314	0.83	21.1	209	311
A-XX-ADS-PDPE-###	600	186		0.87	22.1	229	341	0.85	21.6	216	321	0.84	21.3	213	317
A-XX-ADS-PDPE-###	800	249		0.90	22.9	244	363	0.87	22.1	229	341	0.86	21.8	220	327
A-XX-ADS-PDPE-###	1000	311		0.93	23.6	257	382	0.89	22.6	238	354	0.88	22.4	232	345
A-XX-ADS-PDPE-###	1200	373		0.95	24.1	272	405	0.91	23.1	249	371	0.90	22.9	242	360
A-XX-ADS-PDPE-###	1600	497						0.96	24.4	274	408	0.94	23.9	264	393
A-XX-ADS-PDPE-###	2000	622										0.97	24.6	284	423

Cable diameters and weights may vary depending on specific installation and loading requirements. Diameters and weights shown above are for cables with standard jackets. Contact your Draka Comteq sales representative for information about specific span requirements, and products with track-resistant jackets



# Draka Comteq ADSS Cable

## Cable Dimensions and Properties

### Single Jacket

Part Number	Fiber Count	Span		NESC Heavy, 1% Sag				NESC Medium, 1% Sag				NESC Light, 1% Sag			
		ft	m	Diameter		Weight		Diameter		Weight		Diameter		Weight	
				in	mm	lb/ft	kg/km	in	mm	lb/ft	kg/km	in	mm	lb/ft	kg/km
A-XX-ADS-1JKT-### 2 to 72		200	62	0.44	11.4	70	106	0.44	11.2	70	104	0.44	11.2	70	104
A-XX-ADS-1JKT-###		300	93	0.45	11.7	72	110	0.44	11.2	70	104	0.44	11.2	70	104
A-XX-ADS-1JKT-###		400	124	0.47	11.9	75	115	0.45	11.4	71	107	0.44	11.2	70	104
A-XX-ADS-1JKT-###		500	155					0.46	11.7	73	109	0.45	11.4	71	106
A-XX-ADS-1JKT-###		600	186					0.46	11.7	75	112	0.45	11.4	72	107
A-XX-ADS-1JKT-###		700	218					0.47	11.9	77	115	0.46	11.7	73	109
A-XX-ADS-1JKT-###		800	249									0.46	11.7	75	112
A-XX-ADS-1JKT-###		900	280									0.47	11.9	76	113
A-XX-ADS-1JKT-###		1000	311									0.47	11.9	77	115

Diameters and weights shown above are for cables with standard jacket. Contact your Draka Comteq sales representative for information about

products with track-resistant jackets. Cable diameters and weights may vary depending on specific installation and loading requirements. Contact your Draka Comteq sales representative

### Part Number Guide

A particular part number is NOT complete until you select a fiber count and fiber type.

- > A = printed in feet
- M = printed in meters
- > XX = fiber type
  - SF = standard singlemode
  - ES = Enhanced Singlemode
  - TM = TeraLight™ Metro
  - TU = TeraLight™ Ultra
- > ADS = all dielectric self-supporting cable
- > 1JKT = dielectric single jacket
  - PDPE = dielectric double jacket
  - AT2J = double jacket track-resistant
- > ### = fiber count

### Mechanical Specifications

#### Installation

- > Contact your Draka Comteq sales representative for sag & tension data under specific installation /loading requirements.

#### Minimum bend radius

- > With load: 20X cable diameter.
- > No load: 10X cable diameter.

#### Temperature Range

- > Shipping and storage: -50° C to +75° C
  - > Installation: -30° C to +60° C
  - > Operating: -40° C to +70° C
- (For alternative temperature requirements contact your Draka Comteq sales representative)

### Fiber and Tube Identification

Position	Color	Position	Color
1	Blue	7	Red
2	Orange	8	Black
3	Green	9	Yellow
4	Brown	10	Violet
5	Slate	11	Rose
6	White	12	Aqua

Complies with Telcordia GR-20, RUS CFR-1755-900(PE90 listed), ANSI/ICEA S-87-640, and IECA 60794-3, and IEEE P1222 performance requirements

### For Additional Information

www.drakacomteq.us

Americas .....+1 828 459 9787

.....+1 800 879 9862

Fax .....+1 828 459 8444



# Draka Comteq Aerial Figure 8 Drop Cable

Draka Comteq Figure 8 Aerial Drop cables are designed to connect homes and businesses to the optical network in fiber-to-the-user (FTTU) applications. The Figure 8 Drop cable is optimized for self support aerial drop applications and is available from 2 to 6 fibers. When used in duct or direct buried applications, the Figure 8 Drop cable messenger wire provides cable locating capability. The Figure 8 Drop cable is designed to easily accommodate inexpensive self support attachment hardware. The drop cable is available with optional preconnectorization for easy field termination.

Draka Comteq Figure 8 Drop cables come standard with Draka Comteq's world class ESMF (Enhanced Singlemode Fiber) which provides low loss at the 1383nm water peak region in addition to compatibility to other standard wavelengths.

Features	Benefits
Figure 8 design	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Messenger can easily be separated from the core for cable routing and termination</li> <li>&gt; Compatible with inexpensive attachment hardware used with copper cable drops</li> </ul>
Stranded Metallic Messenger	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Provides improved flexibility compared to solid messenger designs</li> <li>&gt; Provides cable locating compatibility in duct and buried applications</li> </ul>
Rip Card	> Provides quick and easy cable entry and preparation
Advanced "dry" water blocking materials	> Faster and cleaner handling and access to fibers in the field
Fibers in single buffer tube	> Ease of routing fibers in closure
Optical fibers feature patented AFC™ coating with ColorLock™	> Fiber maintains long term reliability, optical performance and color vibrancy with aging



Draka Comteq optical cable products are designed for optimum performance and ease of installation in accordance with industry technical specifications, standards and preferences.

### 1. Messenger Wire

A stranded 0.094" galvanized steel messenger wire is positioned outside the cable core to provide strength for self support applications

### 2. Longitudinal Strength Elements

Provides cable strength and integrity when the core is separated from the messenger

### 3. Optical Fibers

Draka Comteq's world-class color-coded ESMF incorporate AFC™ coating with ColorLock™ for industry-leading long-term mechanical performance and color identification

### 4. Central Buffer Tube

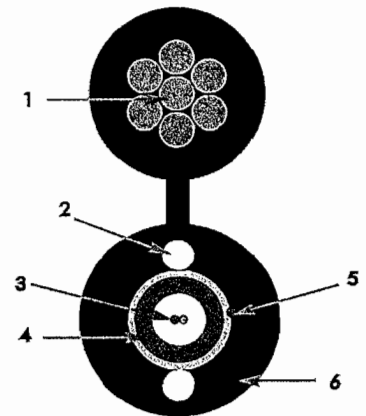
Thermoplastic material protects 2 to 6 fibers from tensile, thermal, and vibration loads, maintaining their optical integrity

### 5. Rip Cord

Longitudinal cord provides easy cable access and outer jacket removal

### 6. Outer Jacket

High quality polyethylene



# Draka Comteq Aerial Figure 8 Drop Cable

## Cable Dimensions and Properties

Part Number	Fiber Count	Width		Height		Cable Weight		Minimum Bend Radius			
		in	mm	in	mm	lb/ft	kg/km	in		mm	
A-ES-DF8-1JKT-###	2 to 6	0.17	4.2	0.34	8.6	33	50	4.6	3.0	117	76

## Part Number Guide

A particular part number is NOT complete until you select a fiber count and fiber type.

>A = printed in feet

M = printed in meters

>ES = Enhanced Singlemode Fiber

>DF8 = Figure 8 Aerial Drop

>1JKT = Non-armored construction

>### = Fiber Count

*Complies with ANSI/ICEA S-110-717-2003 drop cable requirements*

## Mechanical Specifications

### Installation

>Maximum installation pulling load: 300 lbf (1335 N)

### Aerial Loading Specifications

@1% Installation Sag:	Maximum Span	Maximum Installation Tension
NESC Heavy -	150 ft	62lbs
NESC Medium -	265 ft	109lbs
NESC Light -	410 ft	169lbs

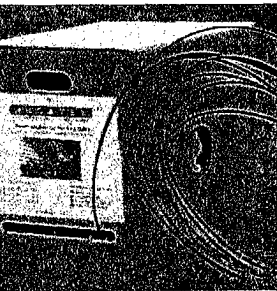
### Temperature Range

>Shipping and storage: -40° C to +75° C

>Installation: -30° C to +60° C

>Operating: -40° C to +70° C

(For alternative temperature requirements contact your Draka Comteq sales representative)



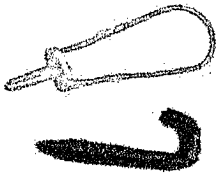
## Package Options

Description	Capacity	Dimensions (H x W x D)	Shipping Weight
Drop Box	1150ft 350m	15.5"x13"x15.5" (394mmx330mmx394mm)	44 lbs (20 kg)
R-18 PLY	2,100ft 640m	18"x15"x8" (46mx38mx20m)	75 lbs (34 kg)
R-30 PLY	10,000ft 3500m	30"x18"x20" (76mx46mx51m)	370 lbs (190 kg)

## Mounting Hardware

### Ordering Information

Item Description	Part Number
Figure 8 Drop Clamp (quantity 50)	20023163
Large J-hook	20022677



## For Additional Information

www.drakacomteq.us

Americas .....+1 828 459 9787

.....+1 800 879 9862

Fax .....+1 828 459 8444

# Draka Comteq Loose Tube Cable

Suitable for aerial, buried and duct applications, loose tube cables are the most widely used in the industry today.

Draka Comteq loose tube cables are available in a wide range of fiber counts ranging from 2 to 432, and a variety of standard and custom configurations to support multiple applications including long haul, metropolitan and access networks. These versatile, reliable cables provide ease of installation, maintenance, and mid-span access.

Draka Comteq loose tube cables are available with your choice of world-class Draka Comteq fibers including standard singlemode, Enhanced Singlemode, TeraLight™ Metro NZDSF and TeraLight™ Ultra NZDSF, or a combination of these.

Features	Benefits
Fibers in individual buffer tubes	> Ease of installation, identification, and routing
ABM™ buffer tube material	> Greater flexibility, reliability, kink-resistance, and ease of midspan access
Advanced "dry" water blocking materials	> Faster and cleaner handling and access to fibers in the field
Colored high-strength ripcords	> Ease of identification and access through jacket or armor
Standards compliance	> High reliability and ruggedness
Optical fibers feature patented AFCT™ coating with ColorLock™	> Fiber maintains optical performance and color vibrancy with aging



Draka Comteq optical cable products are designed for optimum performance and ease of installation in accordance with industry technical specifications, standards, and regulations.

### 1. Central Strength Member

Provides tensile strength and buckling resistance

### 2. Optical Fibers

Draka Comteq's world-class color-coded singlemode optical fibers incorporate AFCT™ coating with ColorLock™ for industry-leading long-term mechanical performance and color identification

### 3. Color-Coded Buffer Tubes

Protect fibers from tensile, thermal, and vibration loads, maintaining their optical and mechanical integrity

### 4. Water Blocking Material

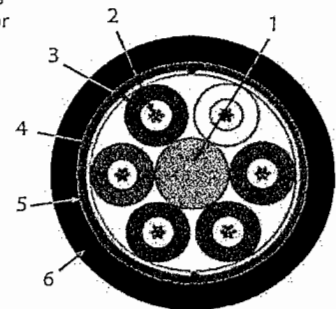
Advanced "dry" material prevents water ingress.

### 5. Armor (optional)

Corrugated steel tape for additional protection in buried environments

### 6. Outer Jacket

Non-reclaimed high quality polyethylene.



# Draka Comteq Loose Tube Cable

The following tables provide information on standard cable configurations. Custom configurations are available

including designs with metallic central strength member (CSM)

## Cable Dimensions and Properties

### Dielectric (Non-Armored)

Part Number	Fiber Count	# of Buffer Tubes	Cable Outer Diameter		Cable Weight		Minimum Bend Radius			
			in	mm	lb/ft	kg/km	in		mm	
							With Load	No Load	With Load	No Load
A-XX-LTS-1JKT-###	2 to 60	5	0.44	11.0	59	87	9	4	221	110
A-XX-LTS-1JKT-###	62 to 72	6	0.45	11.4	62	93	9	4	227	114
A-XX-LTS-1JKT-###	74 to 84	7	0.48	12.1	69	103	10	5	243	121
A-XX-LTS-1JKT-###	86 to 96	8	0.51	12.8	76	113	10	5	257	128
A-XX-LTS-1JKT-###	98 to 108	9	0.55	13.9	88	131	11	5	278	139
A-XX-LTS-1JKT-###	110 to 120	10	0.57	14.4	94	140	11	6	288	144
A-XX-LTS-1JKT-###	122 to 132	11	0.60	15.3	103	153	12	6	305	153
A-XX-LTS-1JKT-###	134 to 216	18	0.63	16.1	117	174	13	6	322	161
A-XX-LTS-1JKT-###	218 to 264	22	0.69	17.6	140	209	14	7	351	176
A-XX-LTS-1JKT-###	266 to 288	24	0.73	18.6	153	228	15	7	373	186
A-XX-LTS-1JKT-###	290 to 432	18	0.73	18.6	153	228	15	7	373	186

### Single Jacket Armored (SP)

Part Number	Fiber Count	# of Buffer Tubes	Cable Outer Diameter		Cable Weight		Minimum Bend Radius			
			in	mm	lb/ft	kg/km	in		mm	
							With Load	No Load	With Load	No Load
A-XX-LTS-1A1J-###	2 to 60	5	0.48	12.3	100	149	10	7	246	184
A-XX-LTS-1A1J-###	62 to 72	6	0.50	12.7	106	157	10	8	254	191
A-XX-LTS-1A1J-###	74 to 84	7	0.53	13.5	116	172	11	8	269	202
A-XX-LTS-1A1J-###	86 to 96	8	0.56	14.2	125	186	11	8	284	213
A-XX-LTS-1A1J-###	98 to 108	9	0.60	15.2	141	209	12	9	305	229
A-XX-LTS-1A1J-###	110 to 120	10	0.63	16.0	151	225	13	9	320	240
A-XX-LTS-1A1J-###	122 to 132	11	0.66	16.8	161	240	13	10	335	251
A-XX-LTS-1A1J-###	134 to 216	18	0.69	17.5	179	266	14	10	351	263
A-XX-LTS-1A1J-###	218 to 264	22	0.76	19.3	209	311	15	11	386	290
A-XX-LTS-1A1J-###	266 to 288	24	0.80	20.3	225	335	16	12	406	305
A-XX-LTS-1A1J-###	290 to 432	18	0.80	20.3	225	335	16	12	406	305



# Draka Comteq Loose Tube Cable

## Cable Dimensions and Properties

### Double Jacket Armored (PSP)

Part Number	Fiber Count	# of Buffer Tubes	Cable Outer Diameter		Cable Weight		Minimum Bend Radius			
			in	mm	lb/ft	kg/km	in		mm	
							With Load	No Load	With Load	No Load
A-XX-LTS-1A2J-###	2 to 60	5	0.53	13.4	120	179	11	8	268	201
A-XX-LTS-1A2J-###	62 to 72	6	0.55	13.9	130	193	11	8	278	209
A-XX-LTS-1A2J-###	74 to 84	7	0.58	14.7	141	209	12	9	294	220
A-XX-LTS-1A2J-###	86 to 96	8	0.61	15.4	152	226	12	9	309	232
A-XX-LTS-1A2J-###	98 to 108	9	0.65	16.5	168	250	13	10	329	247
A-XX-LTS-1A2J-###	110 to 120	10	0.67	17.0	177	264	13	10	339	255
A-XX-LTS-1A2J-###	122 to 132	11	0.71	18.0	193	287	14	11	360	270
A-XX-LTS-1A2J-###	134 to 216	18	0.74	18.7	211	314	15	11	375	281
A-XX-LTS-1A2J-###	218 to 264	22	0.80	20.3	243	361	16	12	405	304
A-XX-LTS-1A2J-###	266 to 288	24	0.84	21.3	260	387	17	13	426	319

### Double Jacket Double Armored (SPSP)

Part Number	Fiber Count	# of Buffer Tubes	Cable Outer Diameter		Cable Weight		Minimum Bend Radius			
			in	mm	lb/ft	kg/km	in		mm	
							With Load	No Load	With Load	No Load
A-XX-LTS-2A2J-###	4 to 60	5	0.66	16.7	207	308	13	10	334	251
A-XX-LTS-2A2J-###	62 to 72	6	0.68	17.2	218	324	14	10	344	258
A-XX-LTS-2A2J-###	74 to 84	7	0.71	18.0	232	346	14	11	360	270
A-XX-LTS-2A2J-###	86 to 96	8	0.74	18.7	248	369	15	11	375	281
A-XX-LTS-2A2J-###	98 to 108	9	0.78	19.8	271	403	16	12	395	296
A-XX-LTS-2A2J-###	110 to 120	10	0.81	20.5	286	425	16	12	410	308
A-XX-LTS-2A2J-###	122 to 132	11	0.84	21.3	302	450	17	13	426	319
A-XX-LTS-2A2J-###	134 to 216	18	0.87	22.0	324	482	17	13	441	331
A-XX-LTS-2A2J-###	218 to 264	22	0.94	23.8	367	547	19	14	477	357
A-XX-LTS-2A2J-###	266 to 288	24	0.98	24.8	391	581	20	15	497	373



# Draka Comteq Loose Tube Cable

## Cable Dimensions and Properties

### Triple Jacket Double Armored (PSPSP)

Part Number	Fiber Count	# of Buffer Tubes	Cable Outer Diameter		Cable Weight		Minimum Bend Radius			
			in	mm	lb/ft	kg/km	in		mm	
							With Load	No Load	With Load	No Load
A-XX-LTS-2A3J-###	2 to 60	5	0.70	17.7	233	347	14	10	355	266
A-XX-LTS-2A3J-###	60 to 72	6	0.72	18.2	246	367	14	11	365	274
A-XX-LTS-2A3J-###	74 to 84	7	0.75	19.0	262	389	15	11	380	285
A-XX-LTS-2A3J-###	86 to 96	8	0.78	19.8	279	415	16	12	395	296
A-XX-LTS-2A3J-###	98 to 108	9	0.82	20.8	302	449	16	12	416	312
A-XX-LTS-2A3J-###	110 to 120	10	0.84	21.3	315	468	17	13	426	319
A-XX-LTS-2A3J-###	122 to 132	11	0.88	22.3	338	502	18	13	446	335
A-XX-LTS-2A3J-###	134 to 216	18	0.91	23.1	360	536	18	14	461	346
A-XX-LTS-2A3J-###	218 to 264	22	0.97	24.6	402	598	19	15	492	369
A-XX-LTS-2A3J-###	266 to 288	24	1.01	25.6	426	634	20	15	512	384

Cables with fiber counts up to 288 contain 12 fibers in an ABM™ buffer tube; Cables with fiber counts greater than 288 contain 24 fibers in a larger PBT buffer tube in 12 fiber binder groups. Weights given are for cables with a dielectric central strength member (CSM).

### Part Number Guide

A particular part number is NOT complete until you select a fiber count and fiber type.

- > A = print in feet
  - M = printed in meters
- > XX = fiber type
  - SF = standard singlemode
  - ES = Enhanced Singlemode
  - TM = TeraLight™ Metro
  - TU = TeraLight™ Ultra
- > LTS = loose tube, standard duct, aerial lashed and direct buried
- > 1JKT = non-armored (dielectric), PE sheath
  - 1A1J = single armor single jacket (SP)
  - 1A2J = single armor double jacket (PSP)
  - 2A2J = double armor double jacket (SPSP)
  - 2A3J = double armor triple jacket (PSPSP)
- > ### = fiber count

Complies with Telcordia GR-20, RUS CFR-1755-900(PE90 listed), ANSI/ICEA S-87-640, and IECA 60794 performance requirements

### Mechanical Specifications

#### Installation

- > Maximum installation load: 600 lbf (2670 N)
- > Maximum operation load: 180 lbf (800 N)

#### Temperature Range

- > Shipping and storage: -50° C to +75° C
- > Installation: -30° C to +60° C
- > Operating: -40° C to +70° C

(For alternative temperature requirements contact your Draka Comteq sales representative)

### For Additional Information

www.drakacomteq.us

Americas .....+1 828 459 9787

.....+1 800 879 9862

Fax .....+1 828 459 8444



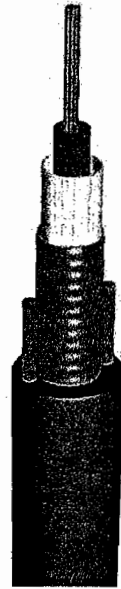
# Draka Comteq MicroUnitube® Cable

Draka Comteq MicroUnitube® cable optimizes size and weight for applications requiring up to 24 fibers. Featuring a small central tube that can accommodate up to 24 fibers, these cables provide easy fiber access, routing, and termination.

MicroUnitube® cable is suited for aerial, buried or duct deployments, this design allows for easy placement in splice trays and closures using existing hardware and tools. MicroUnitube® cables with 2 to 12 fibers are also particularly well suited for buried drop cable applications.

Draka Comteq MicroUnitube® is currently available with Draka Comteq standard singlemode, Enhanced Singlemode, TeraLight™ Metro or TeraLight™ Ultra fiber featuring AFC™ coating and ColorLock™.

Features	Benefits
Advanced "dry" water blocking materials	> Faster and cleaner handling and access to fibers in the field
Flexible 24-fiber design	> Ease of installation, routing, and termination
Rugged, small diameter, light weight	> Optimized for fiber distribution in fiber-to-the-user and hybrid fiber coax networks as well as drop cable applications
Optical fibers feature revolutionary AFC™ coating with ColorLock™	> Fiber maintains optical performance and color vibrancy with aging



Draka Comteq optical cable products are designed for optimum performance and ease of installation, in accordance with applicable industry technical specifications, standards, and references.

## 1. Optical Fibers

Draka Comteq's world-class color-coded singlemode optical fibers incorporate AFC™ coating with ColorLock™ for industry-leading long-term mechanical performance and color identification

## 2. Central Buffer Tube

Protects fibers from tensile, thermal, and vibration loads, maintaining their optical and mechanical integrity

## 3. Dry Water Blocking Materials

Water swellable tape in the cable core prevents water ingress

## 4. Armor (optional)

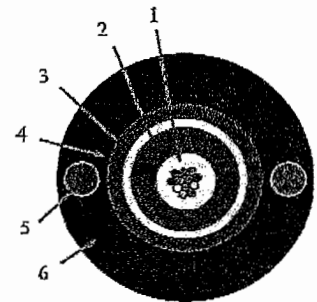
Corrugated steel tape for additional protection

## 5. Strength Members

Longitudinal strength members are outside the cable core, positioned 180° apart, outside the cable core

## 6. Jacket

Non-reclaimed high quality polyethylene





# Draka Comteq MicroUnitube® Cable

## Cable Dimensions and Properties

### Dielectric

Part Number	Fiber Count	Cable Outer Diameter		Cable Weight		Minimum Bend Radius			
		in	mm	lb/ft	kg/km	in		mm	
						With Load	No Load	With Load	No Load
A-XX-MUS-1JKT-####	2 to 12	0.35	8.8	40	60	7	4	180	90

### Armored (SP)

Part Number	Fiber Count	Cable Outer Diameter		Cable Weight		Minimum Bend Radius			
		in	mm	lb/ft	kg/km	in		mm	
						With Load	No Load	With Load	No Load
A-XX-MUS-1A1J-####	2 to 12	0.41	10.3	77	115	8	6	205	155
A-XX-MUS-1A1J-####	14 to 24	0.41	10.3	77	115	8	6	205	155

Fiber counts 2 to 12 use an ABM™ buffer tube;  
 Fiber counts 14 to 24 use a PBT buffer tube.

### Part Number Guide

- A particular part number is NOT complete until you select a fiber count and fiber type.
- > A = printed in feet
  - M = printed in meters
  - > XX = fiber type
    - SF = standard singlemode
    - ES = Enhanced Singlemode
    - TM = TeraLight™ Metro
    - TU = TeraLight™ Ultra
  - > MUS = MicroUnitube; standard duct, aerial lashed and direct buried
  - > 1JKT = non-armored (dielectric)
  - 1A1J = single armor single jacket (SP)
  - > #### = fiber count

### Mechanical Specifications

#### Installation (Dielectric)

- > Maximum installation load: 300 lbf (1335 N)
- > Maximum operation load: 90 lbf (400 N)

#### Installation (Armored)

- > Maximum installation load: 600 lbf (2670 N)
- > Maximum operation load: 180 lbf (800 N)

#### Temperature Range

- > Shipping and storage: -50° C to +75° C
- > Installation: -30° C to +60° C
- > Operating: -40° C to +70° C

(For alternative temperature requirements contact your Draka Comteq sales representative)

Complies with Telcordia GR-20, ANSI/ICEA S-87-640, RUS CFR-1755-900 (PE90 listed), and IEC 60794 performance requirements

### For Additional Information

www.drakacomteq.us

Americas .....+1 828 459 9787  
 .....+1 800 879 9862  
 Fax .....+1 828 459 8444

# Draka Comteq Universal Access and Drop Cable

Draka Comteq Access and Drop cables are designed to connect homes and businesses to the optical network in fiber-to-the-user (FTTU) applications. The Draka Comteq Universal Access and Drop cable is suitable for direct buried, aerial, and duct deployments. An industry-standard loose tube design enhances reliability, ease of installation, maintenance and midspan access. It also enables omni-directional bending, providing greater flexibility than flat or oval designs.

For aerial applications, the stranded loose tube design mitigates fiber strain, increasing overall reliability compared to a central tube cable design. The round cable profile permits use of inexpensive aerial installation hardware similar to that used for coaxial drops.

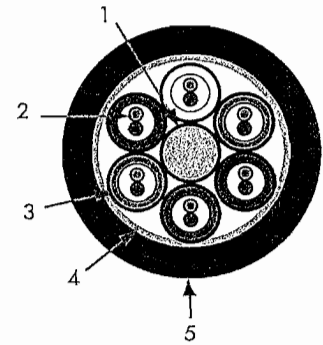
Draka Comteq Universal Access and Drop cables are available in fiber counts from 2 to 12. Options include pre-connectorization for easy field installation, and a flame-retardant jacket. These cables are available with your choice of world-class Draka Comteq fibers including standard singlemode, Enhanced Singlemode, or a combination of these.

Features	Benefits
Industry-standard round dielectric loose tube design	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Ease of installation, maintenance, and midspan access</li> <li>&gt; Compatibility with outside plant closures</li> <li>&gt; No special training</li> <li>&gt; Uses inexpensive aerial installation hardware similar to coaxial drops</li> </ul>
Compliant with Telcordia GR-20, RUS 1755-900, and IEC 60794	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; High reliability and ruggedness</li> </ul>
Advanced "dry" water blocking materials	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Faster and cleaner handling and access to fibers in the field</li> </ul>
VW1 flame compliance option	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Provide flame resistance</li> </ul>
Optical fibers feature patented AFCTM coating with ColorLockTM	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Fiber maintains optical performance and color vibrancy with age</li> </ul>



Draka Comteq optical cable products are designed for optimum performance and ease of installation in accordance with applicable industry regulatory specifications, standards, and materials.

- 1. Central Strength Member**  
Provides tensile strength and buckling resistance
- 2. Optical Fibers**  
Draka Comteq's premium color-coded singlemode fiber incorporates AFCTM coating with ColorLockTM for industry-leading long-term mechanical performance and color identification
- 3. Color-Coded Buffer Tubes**  
Protect fibers from tensile, thermal, and vibration loads. Each tube contains two fibers and a water-blocking compound
- 4. Water Blocking**  
Water swellable elements prevent water ingress
- 5. Jacket**  
High quality polyethylene



# Draka Comteq Universal Access and Drop Cable

## Cable Dimensions and Properties

Part Number	Fiber Count	Cable Outer Diameter		Cable Weight		Maximum Tension for Aerial Installation		Maximum Rating Cable Load (MRCL)		
		in	mm	lb/kt	kg/km	lbf	N	lbf	N	
Without flame-retardant jacket										
A-EX-DUS-1JKT-###	2 to12	0.36	9.25	41	61	108	479	600	2670	
With flame-retardant jacket										
A-ES-DUS-NAFR-###	2 to12	0.36	9.25	49	74	122	546	600	2670	

### Part Number Guide

A particular part number is NOT complete until you select a fiber count and fiber type

- > A = printed in feet
- M = printed in meters
- > ES = Enhanced Singlemode
- > DUS = Universal drop (ADSS, buried, duct)
- > 1JKT = non-armored (dielectric)
- NAFR = non-armored with VW1 flame rating
- > ### = fiber count

Complies with Telcordia GR-20, RUS CFR-1755-900(PE 90 listed), ANSI/CEA S-87-640, ANSI/CEA S-110-717-2003 and IEC 60794 performance requirements

### Mechanical Specifications

#### Minimum Bend Radius

- With load: 20x cable diameter
- Without load: 10x cable diameter

#### Aerial Span

200 ft NESC heavy

#### Temperature Range

- > Shipping and storage: -40° C to +75° C
- > Installation: -30° C to +60° C
- > Operating: -40° C to +70° C

Flame Test (versions with flame retardant jacket only)  
VW1 rated jacket

(For alternative temperature requirements contact your Draka Comteq sales representative)

### Package Options

Description	Capacity	Dimensions (H x W x D)	Shipping Weight
R-30	4400ft 1341m	30"x18"x20" (.76mx.46mx.51m)	221 lbs (100 kg)

### Mounting Hardware

#### Ordering Information

Item Description	Part Number
DE & Thimble Kit (.350-.360" OD)	10026615
Large J-hook	20022677

### For Additional Information

www.drakacomteq.us

Americas .....+1 828 459 9787

.....+1 800 879 9862

Fax .....+1 828 459 8444

## **ANEXO 5**

### **TABLA DE DISTRIBUCIÓN NORMAL ESTÁNDAR**

## TABLA DE DISTRIBUCIÓN NORMAL ESTANDAR

<b>z</b>	<b>0.00</b>	<b>.01</b>	<b>.02</b>	<b>.03</b>	<b>.04</b>	<b>.05</b>	<b>.06</b>	<b>.07</b>	<b>.08</b>	<b>.09</b>
<b>0.0</b>	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
<b>0.1</b>	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
<b>0.2</b>	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
<b>0.3</b>	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
<b>0.4</b>	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
<b>0.5</b>	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
<b>0.6</b>	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
<b>0.7</b>	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
<b>0.8</b>	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
<b>0.9</b>	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
<b>1.0</b>	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
<b>1.1</b>	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
<b>1.2</b>	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
<b>1.3</b>	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
<b>1.4</b>	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
<b>1.5</b>	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
<b>1.6</b>	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
<b>1.7</b>	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
<b>1.8</b>	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
<b>1.9</b>	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
<b>2.0</b>	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
<b>2.1</b>	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
<b>2.2</b>	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
<b>2.3</b>	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
<b>2.4</b>	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
<b>2.5</b>	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
<b>2.6</b>	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
<b>2.7</b>	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
<b>2.8</b>	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
<b>2.9</b>	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
<b>3.0</b>	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
<b>3.1</b>	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
<b>3.2</b>	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
<b>3.3</b>	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
<b>3.4</b>	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998

**Tabla A5.1. Tabla de Distribución Normal.**