

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



TECNOLOGÍA VERY HIGH SPEED DIGITAL
SUBSCRIBER LINE
(VDSL)

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:
MOISÉS ROBERTO VEGA SILVA

PROMOCIÓN
1996-I

LIMA-PERÚ
2002

*A mis señores padres Roberto Vega y Sixtina Silva
por todo el amor y apoyo permanente en mi formación
profesional y humana.*

*A mi esposa Fanny Soto por su fe, amor y
perseverancia ofrecida en todos estos años.*

**TECNOLOGÍA VERY HIGH SPEED DIGITAL
SUBSCRIBER LINE (VDSL)**

SUMARIO

En la búsqueda de llevar más servicios de banda ancha sobre las ya existentes redes de banda angosta así como los recientes eventos en la industria de las telecomunicaciones ha dado lugar a toda una nueva clase de proveedores de servicios que junto a una mayor demanda de acceso de alta velocidad a Internet, a obligado a las Compañías de Telecomunicaciones (TELCO) crear una variedad de soluciones que la tecnología ofrece aprovechando la infraestructura de planta externa existente y conocidas, caso cable de televisión (CATV) y telefonía básica a 2 hilos de cobre, siendo este último en el que las TELCO han encontrado una variedad de soluciones tecnológicas con un rápido índice evolutivo conocidas como XDSL.

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	
ACCESO DE BANDA ANCHA	2
1.1 Acceso Wireless	2
1.2 Acceso Wireline	2
1.2.1 Electric Power Networks	3
1.2.2 Híbrido Fibra-Coaxial	3
1.2.3 Híbrido Fibra-Cobre	3
1.3 Tecnología Digital Subscriber Line (DSL)	4
1.3.1 IDSL	4
1.3.2 HDSL	5
1.3.3 HDSL2	5
1.3.4 ADSL	6
1.3.5 ADSL Lite	7
1.3.6 VDSL	7
CAPÍTULO II	
VERY HIGH SPEED DIGITAL SUBSCRIBER LINE	8
2.1 Estandarización	10
2.2 Aspectos Preliminares Propuestos	12
2.2.1 Posibles Códigos de Línea	12

2.2.2	Separación de Canal	13
2.2.3	FEC: Forward Error Correction	13
2.2.4	Multiplexación en la Dirección del Cliente a la Red.	13
2.3	Condiciones Generales del VDSL	14
2.3.1	Estructura Típica	14
2.3.2	Objetivos y Entorno a Considerarse	15
2.3.3	Planta Externa	16
2.3.4	Deterioro	17
2.3.5	Técnicas de Transmisión	19
2.4	Aspectos Pendientes en el Desarrollo de VDSL	22
2.4.1	Modelo de Referencia	22
2.4.2	Interferencia del Sistema de Radio de Onda Corta	22
2.4.3	Radiación Producida por Cables Aéreos	23
2.4.4	Operación Simétrica o Asimétrica.	23
CAPÍTULO III		
IMPLEMENTACIÓN DE RED VDSL		24
3.1	Topología de Red Requerida	24
3.2	Red de Acceso de Cobre	25
3.2.1	Topología Actual	25
3.2.2	Modelo de Red de Acceso	28
3.2.3	Distribución del Lazo	32
3.2.4	Opciones de Tendido de Fibra	35
3.3	Capacidad del Sistema VDSL	39
3.3.1	Par de Cobre como Medio de Transmisión	39

3.3.2	Capacidad del VDSL sobre el Par de Cobre	40
3.3.3	Capacidad de la Red VDSL	41

CAPÍTULO IV

CASO PRÁCTICO **45**

4.1	Tecnología Long-Reach Ethernet (CISCO)	46
4.1.1	Características Generales	46
4.1.2	Velocidades del LRE	46
4.2	Equipos a ser considerados en la Solución LRE	47
4.2.1	Catalyst 2924 LRE XL	47
4.2.2	CISCO 575	47
4.2.3	CISCO LRE 48 POTS	48
4.3	Arquitectura LRE Considerada	48
4.3.1	Escenario a Implementarse	49
4.3.2	Pruebas sobre el Escenario Planteado	50
4.3.3	Consideraciones del cableado	54
4.4	Troubleshooting	57
4.4.1	Instalación	57
4.4.2	Signal to Noise Ratio	58
4.4.3	Comandos para el Troubleshooting	59

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE COSTOS **62**

5.1	Modelo de Costo	62
5.2	Análisis de los Componentes de Costo	63
5.2.1	Costo del Cableado	63

5.2.2	Acondicionamiento del ONU (Site)	64
5.2.3	El ONU	64
5.2.4	Modems VDSL	65
	CONCLUSIONES	66
	ANEXO A : ABREVIACIONES	67
	ANEXO B : FIGURAS	70
	BIBLIOGRAFÍA	72

PRÓLOGO

Con las tecnologías digital subscriber line (DSL) la capacidad del cobre puede ser incrementada significativamente. Es decir son soluciones de última milla cuya ventaja se encuentra en que utilizan líneas telefónicas comunes (par de cobre) reduciendo costos y tiempos de instalación. Very High Rate Digital Subscriber Line (VDSL) es la última y mayor de las tecnologías XDSL, pudiendo suministrar rangos de datos hasta 52 Mbps de downstream y hasta 34 Mbps de upstream en ciertas versiones propuestas como estándar, para el caso de ETSI estas se especifican hasta 28 Mbps simétrico.

El presente trabajo nos introducirá en las características fundamentales de la tecnología VDSL, códigos de línea propuestos, estandarización, requerimientos de topología de red, conectividad y un caso práctico de aplicación.

CAPÍTULO I

ACCESO DE BANDA ANCHA

Los medios tecnológicos actuales para proveer conexiones de banda ancha se pueden reconocer a través de dos grandes grupos en concordancia con el medio de transmisión usado: Wireline (par de cobre) y Wireless (LMDS)

1.1 Acceso Wireless

El crecimiento vertiginoso actual de las líneas móviles frente a los sistemas existentes de telefonía fija exige la disponibilidad de conexiones de datos. Con GSM, TDMA y CDMA son posibles establecer conexiones de baja velocidad con la posibilidad de ofrecer en un futuro cercano mayores velocidades requiriendo para ello varios canales al mismo tiempo.

Los sistemas de banda ancha actualmente desarrollados con la tecnología wireless se han convertido en una alternativa para las nuevas construcciones en donde los cables no pueden ser usados, ejemplos de esta tecnología tenemos las ya conocidas LMDS y MMDS. Debemos tener en cuenta aquí que las capacidades de ancho de banda se encuentran limitados si se comparan con los sistemas wireline así como la necesidad de línea de vista requerida como un aspecto importante del área de cobertura.

1.2 Acceso Wireline

El actual objetivo final de los sistemas wireline es poder llevar la fibra por toda la ruta de acceso hasta la casa (FTTH) Actualmente opciones previas se han

considerado, tales son el caso de arquitecturas híbridas desde las cuales la fibra es llevada desde la red de acceso en forma paulatina hasta cubrir la última milla, acorde a los requerimientos de última milla en cuanto a velocidad se refiere, por ahora esta última milla es aún cobre para el sector residencial y para cierto sector corporativo.

1.2.1 Electric Power Networks

La posibilidad de utilizar las redes de distribución eléctrica como medio de transmisión de datos, ha hecho que muchas compañías desarrollen la tecnología. Un factor importante para la rentabilidad de este nuevo sistema es la cantidad de líneas de usuarios por transformador, tal es el caso europeo de 300 usuarios alimentados por el mismo transformador a diferencia de US donde la cantidad es de 10 usuarios haciéndola menos económica. De cualquier forma es actualmente una buena oportunidad para las compañías eléctricas darle valor agregado a sus redes eléctricas existentes.

1.2.2 Híbrido Fibra-Coaxial

En la actualidad las redes Community Antenna Televisión (CATV) consistente en cable coaxial (última milla) y de fibra óptica (backbone) son conocidas como redes Hybrid Fiber-Coax (HFC), las mismas que las operadoras ofrecen para brindar servicios interactivos de multimedia y de datos (acceso a Internet) en adición a los de TV cable convencional.

1.2.3 Híbrido Fibra-Cobre

El alto grado de concentración de las instalaciones de par de cobre en las ciudades, ha hecho que las soluciones de fibra-cobre sean muy atractivas. Estas instalaciones de par cobre son usadas fundamentalmente por los viejos servicios de telefonía (POTS) y conexiones de datos de baja velocidad con módems analógicos o

ISDN. El nivel de utilización del par de cobre es típicamente muy bajo, en muchos casos su uso se reduce a conexiones de telefonía de muy corta duración.

La tecnología Digital Subscriber Line (DSL) usa la capacidad del cobre más efectivamente expandiendo su disponibilidad de banda hacia la banda ancha. Junto a esto se suma la disponibilidad de fibra óptica en los puntos de concentración desde donde se extiende el tramo de planta externa a los usuarios, con ello se logra cubrir necesidades de acceso de banda ancha con los diferentes servicios de voz y datos.

1.3 Tecnología Digital Subscriber Line (DSL)

La primera tecnología en ingresar dentro de las redes de acceso fue ISDN, consistente en dos canales B de datos de 64 Kbps por canal y uno de 16 Kbps para la señalización. En general XDSL trabaja en espectros que se encuentran por encima a los 4kHz, característico de las conexiones análogas audibles.

1.3.1 IDSL

Conocido como ISDN DSL, usa la tecnología ISDN para proveer una velocidad de datos simétrico de 56, 64, 128 o 144Kbps. Los módems *DSL* crean en total tres canales, dos canales B y un canal D. La velocidad de información del canal D es de 16 Kbps y se usa principalmente para señalización. Los canales B pueden transportar hasta 64 Kbps duplex (igual velocidad de transmisión de la red al cliente y del cliente a la red) La distancia de operación de la tecnología *DSL* es de 5.486,4 metros. El módem *DSL* se utiliza para ISDN banda estrecha. ISDN puede ser utilizado para transmitir voz y datos y su velocidad es suficiente para soportar también videoconferencia. A pesar de esto, ISDN es mas bien vista como un medio de acceso a Internet en los hogares y por otra parte, el incremento del uso de vídeo y

audio en tiempo real sobre Internet necesita de velocidades superiores a las proporcionadas por ISDN.

1.3.2 HDSL

HDSL es la más difundida de las tecnologías *XDSL* y ha sido estandarizada por ANSI (American National Standards Institute) y ETSI (European Technical Standards Institute). Esta tecnología requiere dos pares de líneas trenzadas para transportar datos a 1.544 Mbps desde de la red al cliente y del cliente a la red. *HDSL* se utiliza también con tres pares trenzados de líneas de cobre para transportar 2.048 Mbps.

La distancia de operación de la tecnología *HDSL* es de 3.657 metros. La aplicación de *HDSL* es principalmente permitir el acceso a los siguientes sistemas: Red PBX, estaciones de antenas para celulares, servicios de Internet y redes privadas de datos.

1.3.3 HDSL2

HDSL2 o *SDSL* tiene la habilidad de transferir datos a la misma velocidad que *HDSL*, con la diferencia de que requiere solamente un par trenzado de cable de cobre.

Adicionalmente, la red local telefónica existente y la transferencia digital de datos pueden ser soportadas simultáneamente por *HDSL2*.

La distancia de operación de la tecnología *HDSL2* es de 3.048 metros. La aplicación típica de *HDSL2* es la misma de *HDSL*, con la diferencia de que *HDSL2* tiene una importante ventaja sobre *HDSL*, es apropiada para usuarios residenciales los que usualmente tienen solamente un par trenzado de cobre.

1.3.4 ADSL

ADSL fue diseñado con el fin de satisfacer la demanda de una mayor velocidad de datos de la red al cliente en comparación con la velocidad de datos del cliente a la red.

Los siguientes tres canales pueden ser creados en el par trenzado para interconectar los módems *ADSL* a cada extremo terminal de la red local:

- Un canal de alta velocidad (de la red al cliente)
- Un canal de velocidad media (incluye ambas direcciones: del cliente a la red y de la red al cliente)
- Un canal POTS (Plain Old Telephone System), el cual es separado de la red digital *ADSL* mediante filtros.

Estos tres canales son creados dividiendo la línea telefónica con la ayuda de los siguientes métodos: Multiplexación por División de Frecuencia (FDM) y Cancelación de Eco.

Las velocidades de la red al cliente dependen principalmente de la distancia y de la capacidad del cable de cobre. Una velocidad de datos por encima de 9 Mbps puede ser alcanzada con un cable con una longitud menor a los 2.743,2 metros y de calibre 24 AWG. Si se duplica la distancia la velocidad puede caer a 1.544 Mbps.

ADSL es más conveniente para aplicaciones en las cuales se requiere extraer información de la red, que para aquellas en las cuales se envía información a través de la red.

En el futuro los requerimientos de video y servicios bajo demanda, podrán ser satisfechos con *ADSL*.

1.3.5 ADSL Lite

Conocida también como Universal DSL (UDSL) o Universal Asymmetric DSL (U-ADSL) es una versión de ADSL de menor velocidad de datos. Diseñado para cubrir un mercado masivo en la versión ADSL está soportado para trabajar sin splitter en el lado del cliente haciendo de la instalación un proceso simple.

1.3.6 VDSL

La tecnología *VDSL* basada en equipos de arquitectura de banda ancha satisface la demanda de mayor ancho de banda para el transporte de servicios, lo cual puede simultáneamente proporcionar un acceso a Internet más rápido, video interactivo y mayor velocidad para los servicios de comunicación de datos. Esta se verá en los capítulos siguientes.

CAPÍTULO II

VERY HIGH SPEED DIGITAL SUBSCRIBER LINE

Una alternativa para alcanzar altas velocidades de transmisión de datos, es la combinación de cables de fibra óptica alimentando a las unidades ópticas de la red (ONU: Optical Network Units) en los sectores residenciales y la conexión final a través de la red telefónica de cobre. Esta topología es denominada Fiber to the Neighborhood (FTTN).

Una de las tecnologías *FTTN* disponibles es *VDSL*, la cual transmite datos a alta velocidad sobre distancias cortas de pares trenzados de líneas de cobre con un rango de velocidad que depende de la longitud de la línea. La máxima velocidad de transmisión de la red al cliente está entre 51 Mbps y 55 Mbps sobre líneas de 300 metros de longitud. Las velocidades del cliente a la red son similares a las obtenidas con *ADSL*, desde 1,6 a 2,3 Mbps. En la figura 2-1 se presenta una figura que permite visualizar la idea básica de la tecnología *VDSL*.

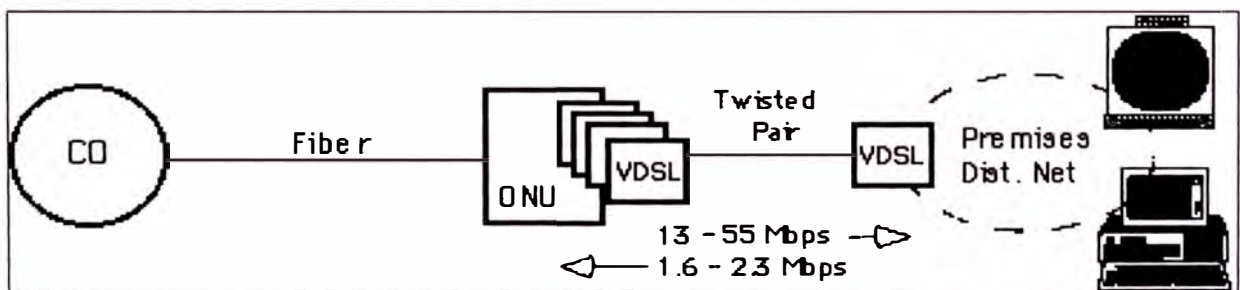


Figura 2-1 Esquema básico VDSL

Al igual que *ADSL*, *VDSL* puede transmitir video comprimido, una señal en tiempo real nada común en los esquemas de re-transmisión de error usados en las

comunicaciones de los datos. Para lograr una tasa de error compatible con video comprimido, *VDSL* tendrá que incorporar la Corrección de Errores hacia delante (FEC: Forward Error Correction) lo suficientemente intercalado para corregir todos los errores creados debido al ruido con alguna duración específica.

Los datos en la dirección de la red al cliente serán emitidos a cada equipo local del cliente (CPE: Customer Premises Equipment) y transmitidos a puertos lógicamente separados que distribuyen la data a la dirección CPE que se desea acceder utilizando Multiplexaje por División de Tiempo (TDM).

La multiplexación en la dirección del cliente a la red es más difícil. Los sistemas que utilizan terminaciones de red pasivas (NT: Network Termination) deben insertar datos al medio compartido mediante TDMA o por FDM. Los sistemas que utilizan terminaciones de red activas transfieren los datos (del cliente a la red) a un puerto lógicamente separado que usaría protocolos Ethernet o ATM para realizar el multiplexación.

La migración y las consideraciones del inventario dictadas por las unidades de *VDSL* establece que pueden operar a varias velocidades con el reconocimiento automático de un dispositivo recientemente conectado a una línea o un cambio en velocidad. Las interfaces de la red pasivas necesitan tener inserción caliente, donde un nuevo *VDSL* establece como premisas que la unidad puede ponerse en la línea sin interferir con el funcionamiento de otros módems.

La tecnología *VDSL* tiene un grado alto de parecido con *ADSL*, aunque esta última debe enfrentar rangos dinámicos mucho más grandes y es considerablemente más compleja como resultado.

VDSL es más bajo en costo y en alcance, las unidades de *VDSL* locales pueden llegar a implementar un control de acceso al medio en un nivel físico, mediante el multiplexación de los datos en la dirección del cliente a la red como se muestra en la figura 2-2.

Es importante considerar los siguientes aspectos para relacionados con la tecnología *VDSL*:

- Los posibles códigos de línea.
- El control del error FEC.
- La separación de canal.
- Multiplexación en la dirección del cliente a la red.

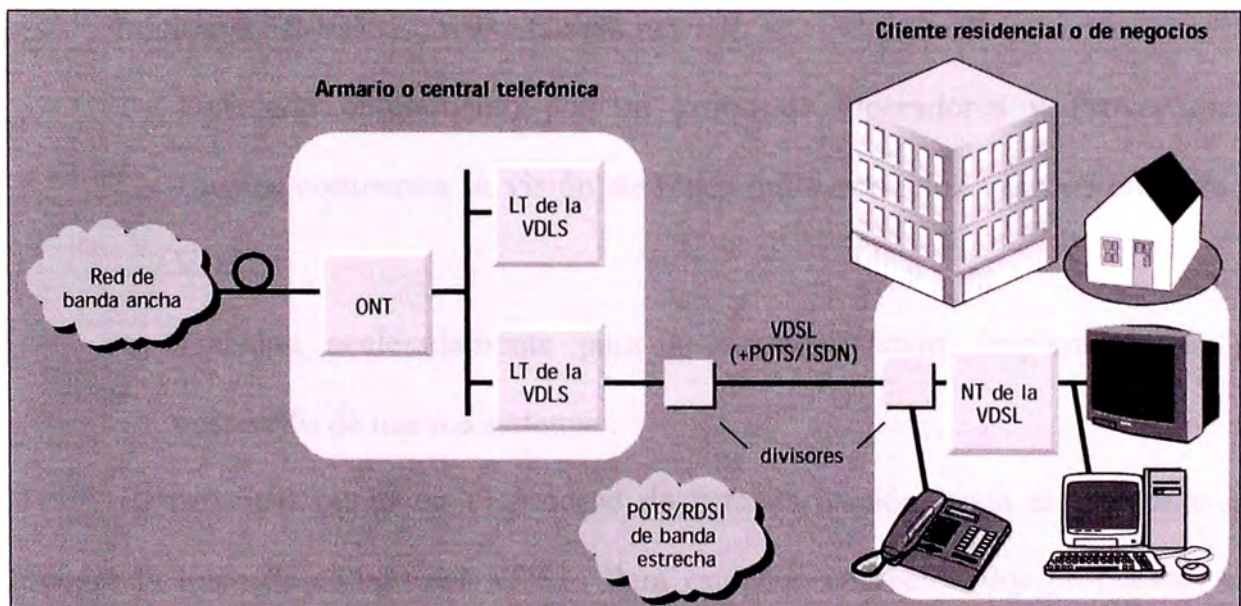


Figura 2-2 Topología VDSL

2.1 Estandarización

- Europe (ETSI TM6) : www.etsi.org
 - Primera publicación (1997-2000) estándar VDSL (2 partes: Functional requirements, Transceiver specification) aprobado en Diciembre del 2000

- Single-carrier modulation (SCM) and Multi-carrier modulation (MCM) Technologies, son especificadas como posibles implementaciones.
- North América (ANSI T1E1.4) : www.t1.org
 - Primera publicación (1999-2001) para la prueba del estándar VDSL (3 partes: Functional requirements, SCM Transceiver specification and MCM Transceiver specification) documento pasado a votación en Febrero del 2001.
- International (ITU-T) : www.itu.int
 - Primera publicación (iniciada en 1999) incluye solo requerimientos Funcionales.
- Iniciativa FS-VDSL : www.fs-vdsl.net
 - Trabajado enteramente por un grupo de Operadores y Proveedores, quienes comparten la visión de redes multi-servicios basados en fibra y VDSL.
 - Trabajan aceleradamente para la estandarización, implementación y desarrollo de nuevos sistemas.

El principal punto en el proceso de estandarización hasta el momento es escoger la línea de código del VDSL. Para esto han aparecido dos propuestas las cuales están sostenidas por dos grandes y fuertes grupos de compañías:

- Single Carrier Technologies (CAP y QAM : SCM) promovida por el VDSL Coalition Group
- Discrete Multitone Tecnology (DMT MCM) promovido por la VDSL Alliance Group

En la actualidad existe un fuerte desacuerdo entre estos dos grupos.

2.2 Aspectos Preliminares Propuestos

2.2.1 Posibles Códigos de Línea

2.2.1.1 CAP (Carrierless AM/PM)

El sistema sin portadora AM/PM, es una versión del sistema de portadora suprimida QAM (Quadrature Amplitud Modulation). Para las configuraciones de NT pasivas, CAP utilizaría la velocidad (del cliente a la red) de QPSK y un tipo de TDMA para la multiplexación (aunque CAP no impide un esquema de FDM para el multiplexación en la dirección del cliente a la red).

2.2.1.2 DMT (Discrete Multitone)

El sistema Multitono Discreto utilizaría la Transformada de Fourier Discreta para crear y demodular a las portadoras individuales. Para las configuraciones de NT pasivas, DMT usaría FDM para la multiplexación en la dirección del cliente a la red (también permite TDMA).

2.2.1.3 DWMT (Discrete Wavelet Multitone)

Es un sistema Multitono Discreto que utiliza la transformada Wavelet para crear y demodular a las portadoras individuales. DWMT también usa FDM para la multiplexación en la dirección del cliente a la red, pero también permite TDMA.

2.2.1.4 SLC (Simple Line Code)

El sistema de Código de Línea Simple, es una versión de señalización de la banda base de cuatro niveles, la cual filtra la banda base y la restaura en el receptor.

Para las configuraciones de NT pasivas, SLC usaría probablemente TDMA para la multiplexación en la dirección del cliente a la red, aunque también podría usarse FDM.

2.2.2 Separación de Canal

Las primeras versiones de VDSL podrían emplear la Multiplexación por División de Frecuencia para separar el canal que va de la red al cliente, del cliente a la red, y estos dos de los POTS (Plain Old Telephone System) e ISDN.

La cancelación del eco puede ser requerida para versiones posteriores de VDSL, caracterizando a una velocidad asimétrica de datos.

2.2.3 FEC: Forward Error Correction

FEC sin duda, utilizará una especie de código Reed Solomon para corregir la ráfaga de errores causados por la introducción de ruido. El tratamiento del ruido será muy similar al implementado para ADSL.

2.2.4 Multiplexación en la Dirección del Cliente a la Red.

Si las unidades locales de VDSL comprenden terminaciones de red activas, la multiplexación de más de un CPE a uno simple es responsabilidad de la red local. Las unidades VDSL presentan un flujo de datos en ambas direcciones. Un tipo de red local involucra una estrella que conecta cada CPE a un interruptor o borne de multiplexación.

En una configuración de NT pasiva, cada CPE tiene una unidad de VDSL asociada. El canal (en la dirección del cliente a la red) para cada CPE debe compartir un cable común.

Si se utiliza un sistema de detección de colisión se puede dividir el canal en bandas de frecuencia y asignar una banda a cada CPE, esto con el fin de garantizar el ancho de banda requerido.

En la figura 2-3 se puede observar las configuraciones para NT activo y pasivo.

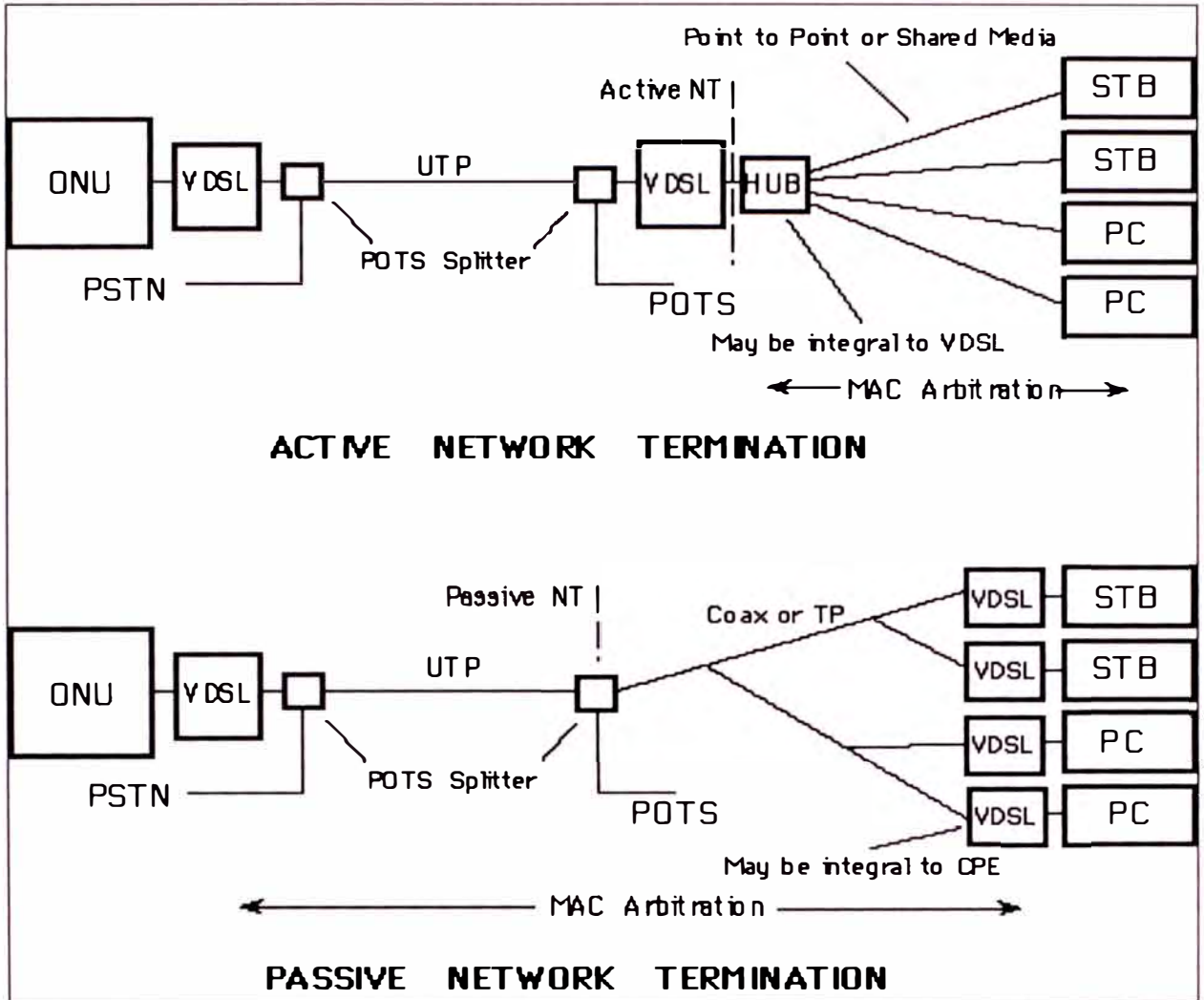


Figura 2-3 Terminación de RED

2.3 Condiciones Generales del VDSL

2.3.1 Estructura Típica

En la figura 2-4 se muestra la estructura típica VDSL.

Abreviaciones usadas:

- AN : Access Network
- ONU : Optical Network Unit
- VTU : VDSL Transmission Unit
- OLT : Optical Line Terminal
- NT : Network Termination

- CO : Central Office

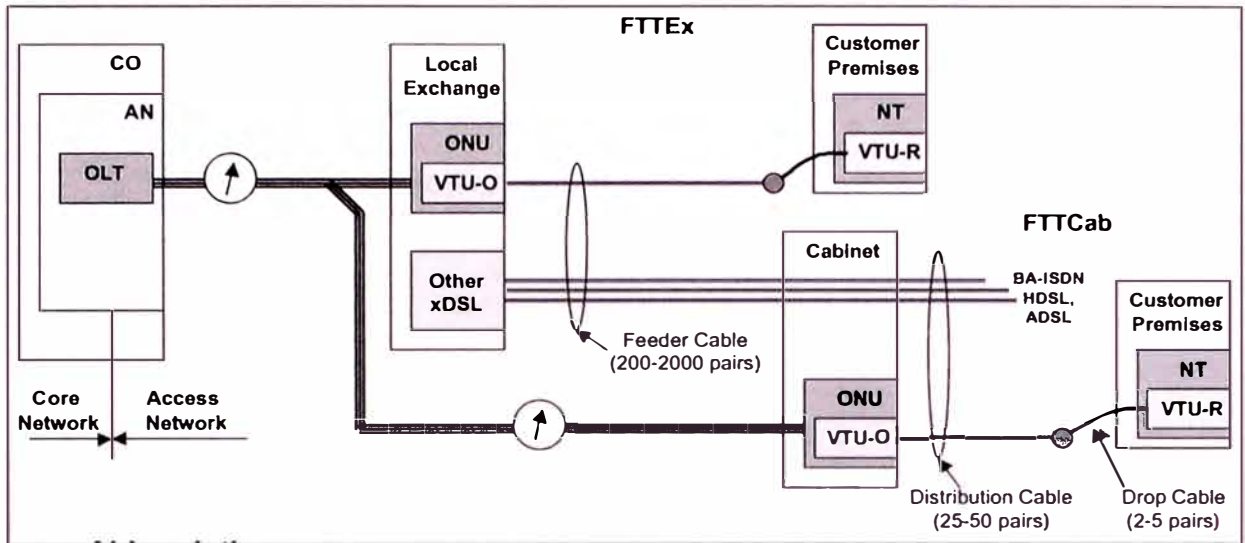


Figura 2-4 Estructura Típica VDSL

2.3.2 Objetivos y Entorno a Considerarse

- Transporte Asimétrico:
 - Europe: 23/4, 14/3, 8,5/2, 6,5/2 Mbps
 - North America: 22/3, 13/3 Mbps
- Transporte Simétrico:
 - Europe: 28/28, 14/14, 8,5/8,5, 6,5/6,5 Mbps
 - North America: 13/13, 9/9, 6/6 Mbps
- Transporte
 - Slow path or Slow & Fast paths
- Latencia:
 - $\leq 1,0$ ms para “Fast path”
 - ≤ 20 ms para “Slow path”, “trade-off latency” para “burst protection”
 - hasta 500 us
- POTS o BA-ISDN life-line sobre el mismo par de cobre

- Compatibilidad espectral con: POTS, Todos los XDSL usando la banda por debajo de 1,1MHz, T1/E1 (Eficiencia reducida), Radio HAM (Estándar Europeo y banda NA), radio AM.

La figura 2-5 muestra el caso de velocidades simétricas y asimétricas.

Clase de operación	Velocidad de datos en sentido descendente (Mbit/s)	Velocidad de datos en sentido ascendente (Mbit/s)
Clase I (A4)	23,168	4,096
Clase I (A3)	14,464	3,072
Clase I (A2)	8,576	2,048
Clase I (A1)	6,400	2,048
Clase II (S5)	28,288	28,288
Clase II (S4)	23,168	23,168
Clase II (S3)	14,464	14,464
Clase II (S2)	8,576	8,576
Clase II (S1)	6,400	6,400

Figura 2-5 Velocidades de la carga útil del ETSI

2.3.3 Planta Externa

- **Cables de distribución:**

Con o sin Blindaje

Aéreo o Subterráneo

UTP

50-2.000 pares, 25-50 pares por multipar

26 AWG, 24 AWG es el más popular

- **Cable de Bajada**

Sin Blindaje

Aéreo o subterráneo

1- 25 pares, cable simple

Twisted or Single Flat Pair de ser posible

0,5mm – 0,8mm

2.3.4 Deterioro

- **Crosstalk Noise (Completamente blindado):**

La señal Near-End Crosstalk (NEXT) puede ser representado por la siguiente densidad espectral de potencia:

$$PSD_{NEXT} = PSD_{disturbio} \cdot K_{next} \cdot (N/49)^{0.6} \cdot f^{1.5}$$

donde:

N es el número de Crosstalkers

$$K_{next} = 8,818 \times 10^{-14}$$

La señal Far-End Crosstalk (FEXT) puede ser representado por la siguiente densidad espectral de potencia:

$$PSD_{FEXT} = PSD_{disturbio} \cdot K_{fext} \cdot |H(f)|^2 \cdot (N/49)^{0.6} \cdot d \cdot f^2$$

donde:

“d” es la longitud del lazo en pies.

$$K_{fext} = 7,999 \times 10^{-20}$$

- **Background Noise:**

Ruido Blanco Gaussiano de -140dBm/Hz

- **RFI (HAM radio and AM radio):**

Bandas de los Radioaficionados:

- 1,81-2,0 MHz
- 3,5-4,0 MHz

- 7,0-7,3 MHz
- 10,1-10,15 MHz
- 14-14,35 MHz
- 18,068-18,168 MHz
- 21-21,45 MHz
- 24,89-24,99 MHz
- 28-29,7 MHz

Bandas comerciales AM:

- 660 KHz (AM)
- 710 KHz (AM)
- 770 KHz (AM)
- 1.050 KHz (AM)
- 1.130 KHz (AM)
- 1.190 KHz (AM)
- 1.280 KHz (AM)
- 1.330 KHz (AM)
- 1.480 KHz (AM)
- 1.600 KHz (AM)

- **Impulse Noise:**

Incluye High Level Noise Bursts capaz de borrar la señal por hasta cientos de microsegundos.

Para efectos de pruebas se puede diseñar un generador de ruido tal como se muestra a continuación en la figura 2-6.

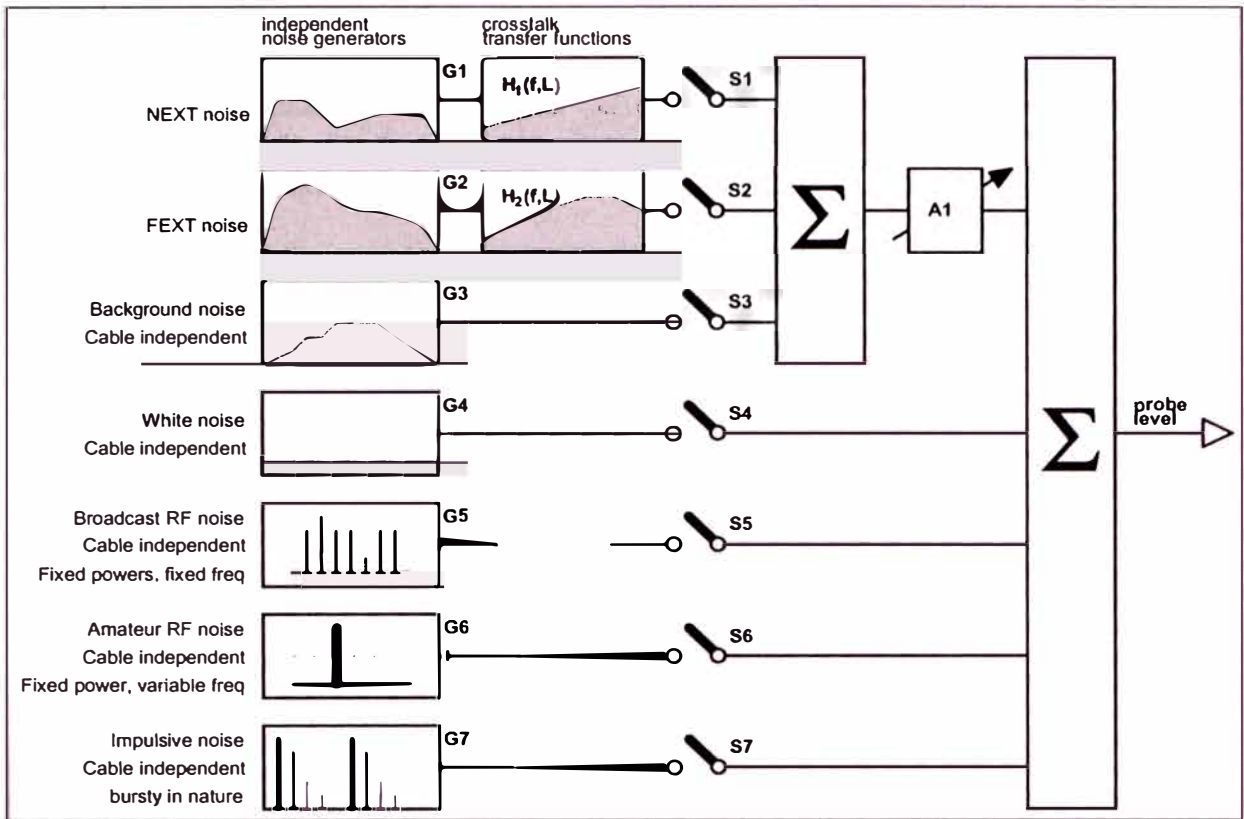


Figura 2-6 Generador y compositor de ruido para las mediciones de campo

2.3.5 Técnicas de Transmisión

- **Duplexación: Frequency Division Duplex (FDD)**

Plan 998 (North America, Europe, Japan) como se muestra en la figura 2-7.

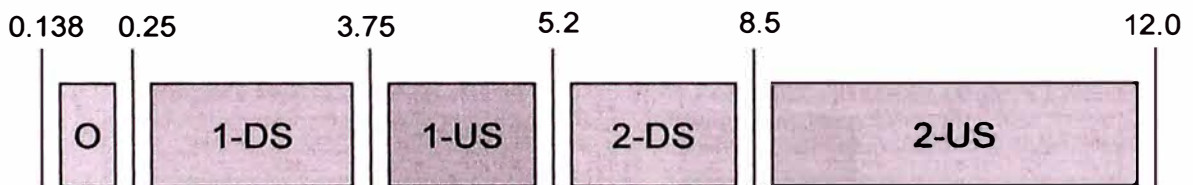


Figura 2-7 Plan 998

Plan 997 (Europe) como se muestra en la figura 2-8.

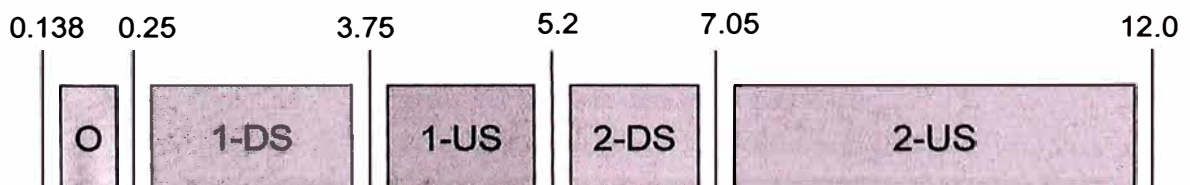


Figura 2-8 Plan 997

Estas son algunas razones por la que se eligió FDD frente a TDD:

- Compatibilidad espectral con otros servicios XDSL alcanzados con un apropiado plan de frecuencias.
- No necesita sincronización centralizada.
- La sincronización de los canales (en la dirección de la red al cliente y viceversa) es más fácil con FDD, porque todos los sistemas necesitan tener las mismas frecuencias del "*bandsplit*".
- Fácil de mezclar con diferentes servicios (simétrico / asimétrico, baja / alta velocidad).
- Conocido, maduro y de bajo costo tecnológico.
- No viola la estacionalidad del ruido de ambiente en el cable.

- **Modulación**

El medio físico dependiente de la capa (PMD) constituye un punto controversial por estar este punto liderado por dos grandes corrientes.

La figura 2-9 muestra su ubicación en la estructura del modelo por capas:

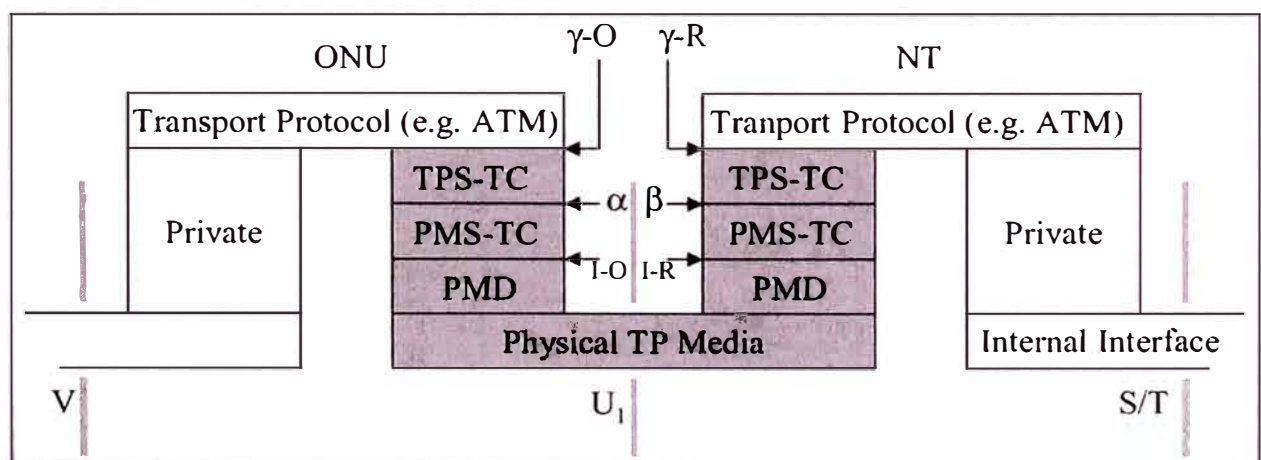


Figura 2-9 Modelo de Capas - VDSL

En el se distingue claramente su ubicación adyacente al medio físico.

Single-carrier modulation (SCM) – También conocido como CAP como se muestra en la figura 2-10.

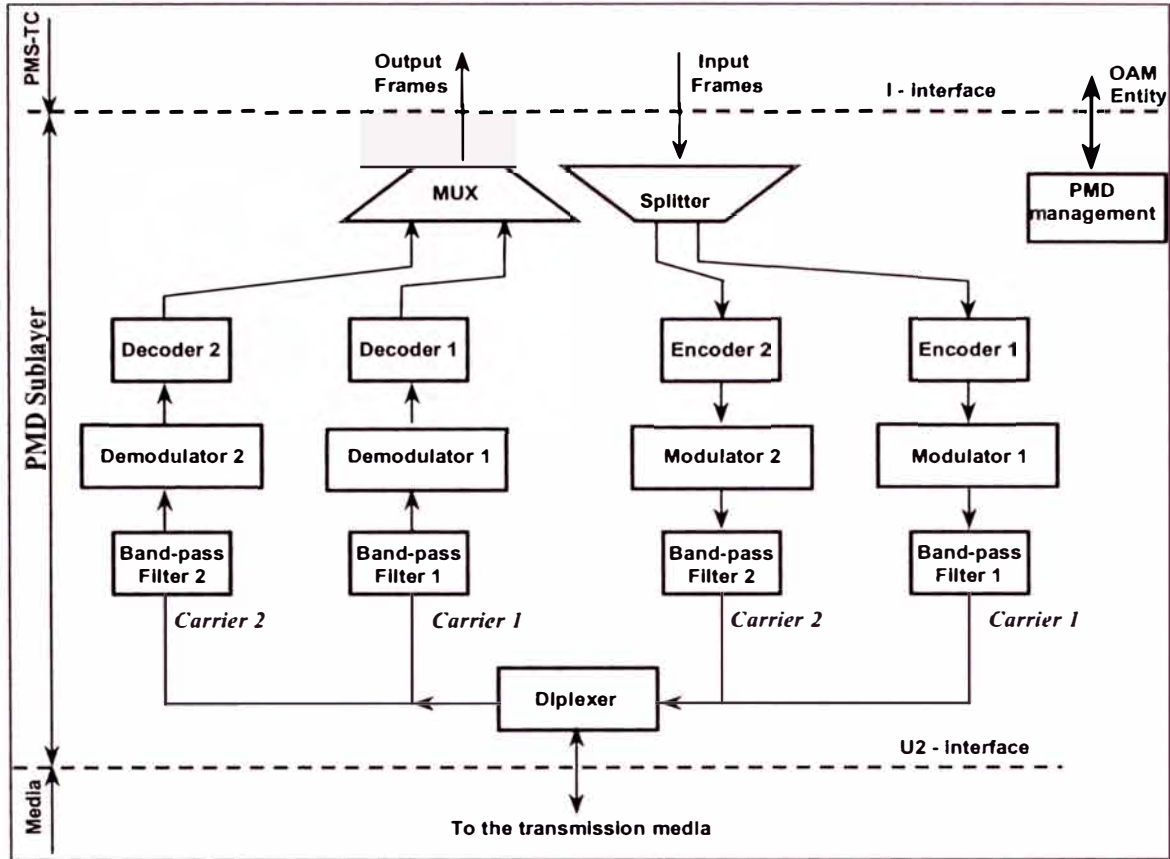


Figura 2-10 Modelo Funcional Single-carrier PMD

Multi-carrier modulation (MCM) – también conocido como DMT como se muestra en la figura 2-11.

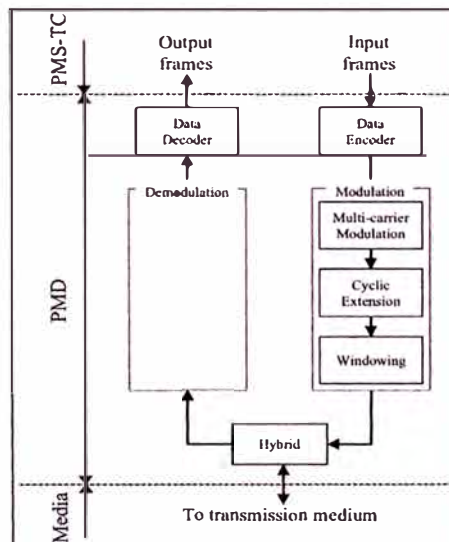


Figura 2-11 Modelo Funcional Multi-carrier PMD

- **Corrección de Error**

Aquí es usado el estándar Reed-Solomon operando a 8 octetos. La técnica es conocida como Forward Error Correction (FEC).

- **Protección del Impulse Noise**

Interpolación Ramsey III, Latencia programada, corrección de borrado de hasta 500 us

2.4 Aspectos Pendientes en el Desarrollo de VDSL

Como ya se ha mencionado, La tecnología *VDSL* aun no está completa ya que existen ciertos aspectos que aún requieren de una definición clara. Estos aspectos se mencionan a continuación.

2.4.1 Modelo de Referencia

La característica del ruido en la línea no sólo variará con el tipo de línea, sino también con la base instalada de la red local. No hay ningún acuerdo hasta la fecha, aunque es necesario que se propongan varios modelos antes de que la tecnología sea masivamente comercializada.

El Comité Europeo (TM6) está a favor de esperar por los resultados de los estudios de los operadores de la red y separar el modelo del ruido de códigos de línea.

2.4.2 Interferencia del Sistema de Radio de Onda Corta

En el caso de antena de área local, la señal *VDSL* sobre el cable generará un campo eléctrico capaz de interferir con bandas de la radio de onda corta.

Por otra parte, las bandas de frecuencia de radio de onda corta que coinciden con la frecuencia de *VDSL* dañarán la señal *VDSL*.

2.4.3 Radiación Producida por Cables Aéreos

Utilizando TDD, un transmisor de *VDSL* produce una emisión de radiación no deseada que interfiere con los receptores de radio-aficionados. Se determinó que el máximo PSD de 60 dBm/Hz, permitido para la tecnología *VDSL* puede generar interferencia potencial en algunas bandas de alta frecuencia del espectro de radio.

2.4.4 Operación Simétrica o Asimétrica.

Es posible que *VDSL* soporte tanto sistemas simétricos como asimétricos. *VDSL* simétrico es adecuado para distancias cortas ya que puede simplificar la interfaz con la red conjuntamente con las redes LAN. Para distancias largas *VDSL* asimétrico es apropiado, ya que simplifica los equipos electrónicos requeridos por los usuarios residenciales.

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACION DE RED VDSL

Existen algunos obstáculos Técnicos y Físicos que pueden resultar en un resultado muy bajo en las capacidades de transmisión. El problema con los ONUs es que ellos requieren de espacio físico que frecuentemente no existe en las actuales redes de acceso.

Los Crossconectores por ejemplo son localizados en las redes de acceso y podría ser el lugar ideal para ubicar los ONUs, pero el verdadero problema es que frecuentemente no existe espacio suficiente para equipo extra. También los requerimientos de energía se convierten en un problema mayor pues los Crossconectores son redes de cobre pasivo y no necesitan de energía. Esto obliga a tener que definir el lugar y construir los espacios adecuados para albergar los ONUs en las vecindades inmediatas de los Crossconectores.

3.1 Topología de Red Requerida

La figura 3-1 muestra el modelo referencial VDSL en donde la parte principal de la red puede ser vista. El Optical Network Unit (ONU) debe ser ubicada en la red de acceso cerca de los usuarios finales. El ONU consiste de un Access Multiplexer (DSLAM), que contiene la parte LT del par de módems VDSL; y del nodo de fibra que provee conexión a la red de datos. El Terminal de red (NT) es el módem localizado en el cliente. La compañía operadora puede así escoger si desean ofrecer servicios de banda angosta (narrowband) sobre el mismo lazo de cobre.

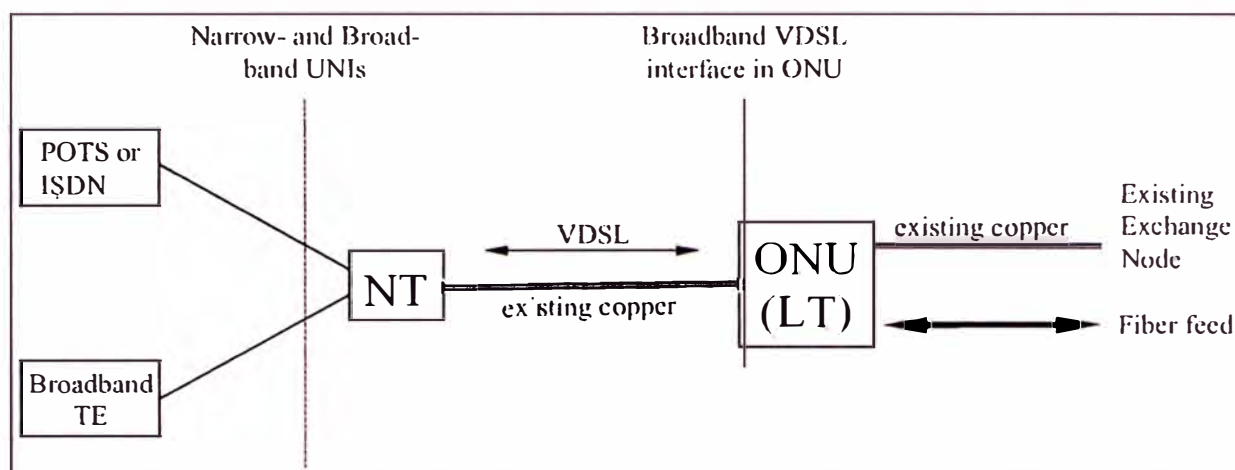


Figura 3-1 Modelo de referencia VDSL definido por ETSI

3.2 Red de Acceso de Cobre

Diseñar redes VDSL es típicamente hacerlo sobre las redes de acceso de cobre ya existente. La fibra óptica es llevada hasta un punto específico de las redes de acceso haciendo el salto final hacia el suscriptor con VDSL sobre el par de cobre existente. En adelante fijaremos la topología y el modelo a usarse en el cálculo concerniente de los diferentes escenarios.

3.2.1 Topología Actual

Las redes de acceso actual consisten en pares de cobre que recorre desde el Local Exchange (LE) hacia los suscriptores. Una topología típica es presentada en la figura 3-2. Desde el punto de distribución principal (MDF) los pares de cobre son llevados vía rutas de alimentación hacia los puntos de crossconexión marcados como FP. Los suscriptores marcados cerca al LE son conectados directamente. Usualmente la red de distribución que va desde los suscriptores hacia la FP es corta comparada con la longitud del cableado de alimentación (MDF-FP).

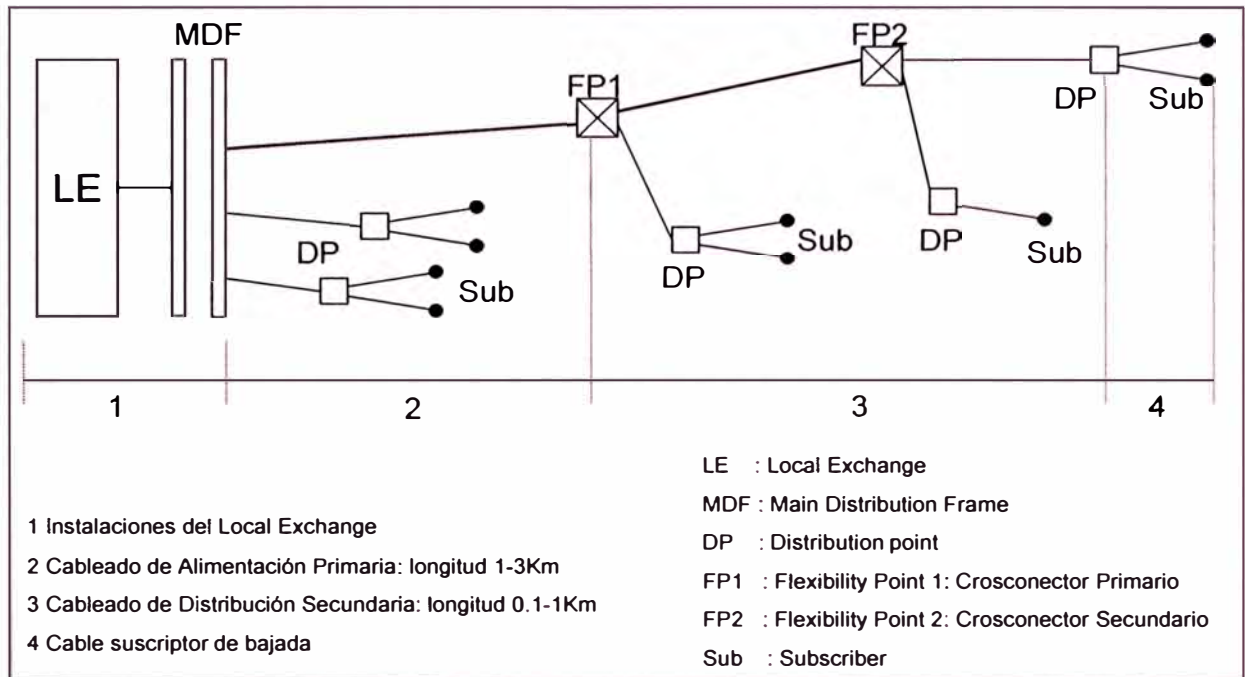


Figura 3-2 Topología de Acceso de Red actual

El total de longitud de lazo del suscriptor, que es un par de cobre conectado hacia el LE, está limitado por la máxima resistencia de lazo permitida el cual es 1.800-2.400 ohms incluyendo 400 ohms del teléfono. Esto significa que la máxima longitud depende del tipo de cable, por ejemplo un cable de 0,5 mm permite una longitud de aproximadamente 5,0 Km.

En la figura 3-3 la topología de red de acceso está representada en una área geográfica imaginaria. Cuando un área es creada, esta es dividida en Áreas de Distribución. Cuando un área LE es creada, esta es dividida en Áreas de Distribución las cuales tienen un punto de Crossconexión dedicado.

La ubicación óptima de los crossconectores es la media o punto de gravedad del área respectiva. El tamaño de distribución de las áreas es seleccionado de forma que el diámetro es alrededor de “b” en ambas direcciones.

En áreas de alta densidad poblacional los puntos de crossconexión son ubicados en Edificios, mientras que en las áreas de baja densidad éstas son ubicadas en las Avenidas o Calles en cabinas especialmente diseñadas para la intemperie.

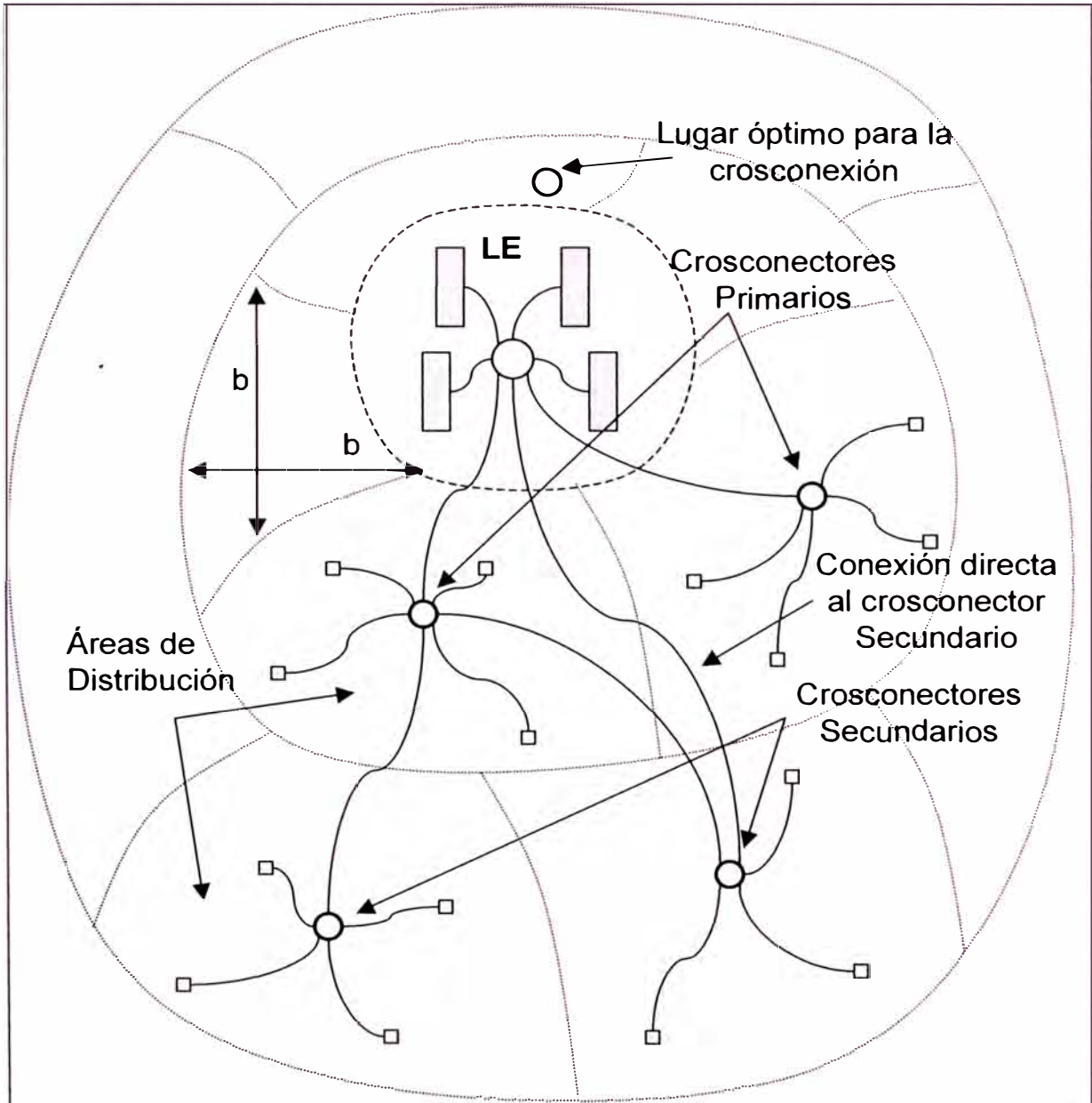


Figura 3-3 Área geográfica de las redes de acceso

En redes reales algunos pares son tomados del LE y llevados directamente a los crosconectores secundarios. Este hecho hace que para el diseño de redes VDSL se tenga que recurrir a un gasto extra en la ubicación final del ONU.

3.2.2 Modelo de Red de Acceso

Modelar es necesario para el cálculo de alguna forma de la cantidad de fibra, cobre requerido y ubicación de los ONUs así como las distancias asumidas para la cobertura de la red VDSL. El modelo de SYNTHESYS es usado aquí, el cual está basado en un polígono representado por la figura 3-4.

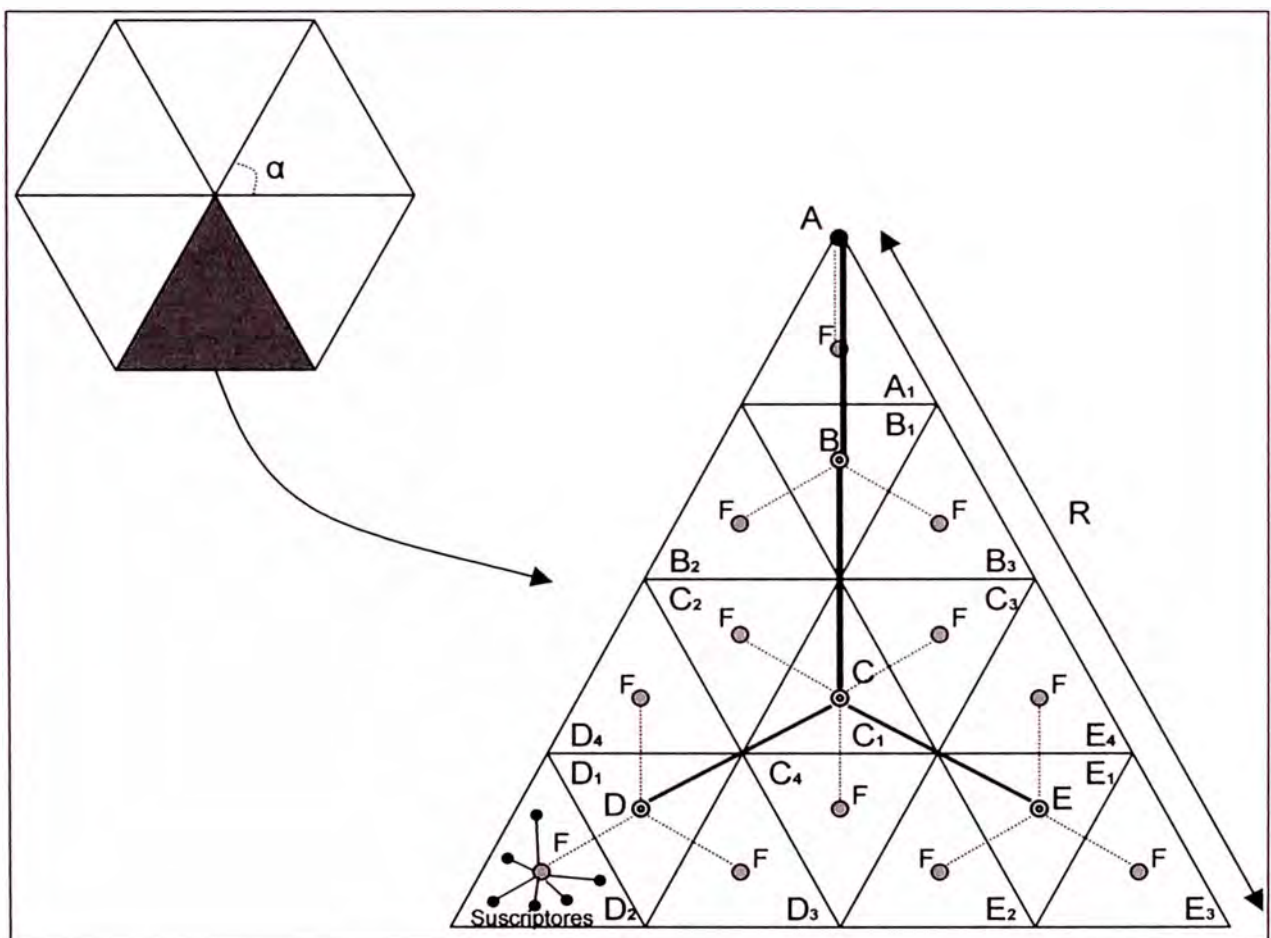


Figura 3-4 Modelo de Red de Acceso SYNTHESYS

Aquí todo el Polígono representa toda el área LE. Los suscriptores son conectados a los puntos de distribución F, localizado en el punto de gravedad de los pequeños triángulos. Como en las redes de acceso reales aquí también los segmentos son acumulados junto a los puntos de Flexibilidad (B, C, D, E), un gran cable

(multipar) llega a estos puntos desde el LE (A). Los suscriptores en el triángulo A son conectados directamente.

Las diferentes longitudes de los enlaces se pueden obtener de la geometría asumida. Aquí tomaremos $\alpha = 60^\circ$, de forma que el polígono es un Hexágono.

La longitud del enlace AB y BC es función de R:

Ecuación 1

$$\begin{aligned} |\overline{AB}| &= |\overline{BC}| = \frac{R}{3} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = \frac{R}{3} \cdot \cos(30^\circ) \\ &= \frac{R}{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{3}}{6} R \\ &\approx 0,289 \times R \end{aligned}$$

Para las longitudes de CD y CE estas son iguales a AB y BC:

Ecuación 2

$$\begin{aligned} |\overline{CD}| &= |\overline{CE}| = \sqrt{\left(\frac{R}{6} \cdot \cos \frac{\alpha}{2}\right)^2 + \left(\frac{R}{2} \cdot \sin \frac{\alpha}{2}\right)^2} \\ &= \sqrt{\frac{R^2}{6^2} \cdot \left(1 - \sin^2 \frac{\alpha}{2}\right) + \frac{9}{9} \cdot \frac{R^2}{4} \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2}} \\ &= \frac{R}{6} \cdot \sqrt{1 + 8 \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2}} = \frac{R}{6} \cdot \sqrt{1 + 8 \cdot \sin^2(30^\circ)} \\ &= \frac{R}{6} \cdot \sqrt{1 + 8 \cdot \frac{1}{4}} = \frac{\sqrt{3}}{6} \cdot R = |\overline{AB}| \\ &\approx 0,289 \times R \end{aligned}$$

Para los valores de AF, BF, CF, DF y EF:

Ecuación 3

$$\begin{aligned} |\overline{AF}|_{geo} &= |\overline{BF}|_{geo} = |\overline{CF}|_{geo} = |\overline{DF}|_{geo} = |\overline{EF}|_{geo} = \\ &= \frac{1}{2} \cdot |\overline{AB}| = \frac{\sqrt{3}}{12} \cdot R \approx 0,144 \times R \end{aligned}$$

Estos resultados son menores de los obtenidos del modelo real de red. Una corrección a los valores anteriores es obtenida del modelo de simulación sugerido por I. Welling (Modelo Geométrico) como se muestra a continuación:

Ecuación 4

$$\begin{aligned} |\overline{AF}|_{sim} &= |\overline{BF}|_{sim} = |\overline{CF}|_{sim} = |\overline{DF}|_{sim} = |\overline{EF}|_{sim} = \\ &= R \cdot \left(0,132 + \frac{0,336}{n} \right) = R \cdot \left(0,132 + \frac{0,336}{6} \right) = 0,188 \times R \end{aligned}$$

Donde el rango del polígono, n en la ecuación, es en este caso 6.

Para simplificar el modelo los pequeños triángulos son reemplazados por círculos con igual área.

Esta aproximación no afecta el modelo significativamente haciendo más sencillo la distribución a los subscriptores dentro de un círculo que lo que sería en un triángulo.

El radio de este pequeño círculo es deducido ha continuación:

Ecuación 5

$$\begin{aligned} A_{small\ triangle} &= \frac{1}{16} \cdot A_{segment} = \frac{1}{16} \cdot \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot \sin \alpha = \frac{\sqrt{3}}{64} \cdot R^2 = \pi \cdot r^2 \\ \Rightarrow r &= \sqrt{\frac{A_{small}}{\pi}} = \frac{R}{8} \sqrt{\frac{\sqrt{3}}{\pi}} = \left(\frac{3}{\pi^2} \right)^{1/4} \cdot \frac{R}{8} \approx 0,093 \times R \end{aligned}$$

La distancia del centro del círculo a la locación del subscriptor representa la longitud del lazo desde el punto de distribución a la entrada de la ubicación del subscriptor.

Aquí es estimado 15 m necesarios para la terminación del lazo desde la entrada al lugar hasta el mismo subscriptor.

De acuerdo al Modelo Geométrico de I. Welling la distancia promedio desde el punto de distribución al subscriptor es $((2/3) r + 15)$ metros donde las distancia mínima y máxima es asumido como se muestra:

Ecuación 6

$$\begin{aligned} |F \rightarrow Sub|_{\min} &= 0 + 15 \text{ meters} \\ |F \rightarrow Sub|_{\max} &= r + 15 \text{ meters} \end{aligned}$$

De donde la longitud del lazo total al subscriptor es expresada como sigue:

Ecuación 7

$$\begin{aligned} |A \rightarrow Sub|_{\min} &= |\overline{AF}|_{sim} + |F \rightarrow Sub|_{\min} \\ |A \rightarrow Sub|_{\max} &= |\overline{AB}| + |\overline{BC}| + |\overline{CE}| + |\overline{EF}|_{sim} + |F \rightarrow Sub|_{\max} \end{aligned}$$

Aquí se hace importante poder fijar un valor para R, el radio del Hexágono, pues todas las longitudes de los enlaces son definidos en función de esta.

Un área del LE con diámetro de 6.000 m (R = 3.000 metros) representa un valor moderado y realista para áreas urbanas o semi-urbanas.

De esto el máximo valor para el lazo del subscriptor es 3.456 m, tener en cuenta que este valor no se ajusta si se considera un área rural.

De aquí un área con radio de 3.000 m es un buen valor para el caso de estudio, acorde a la figura 3-5.

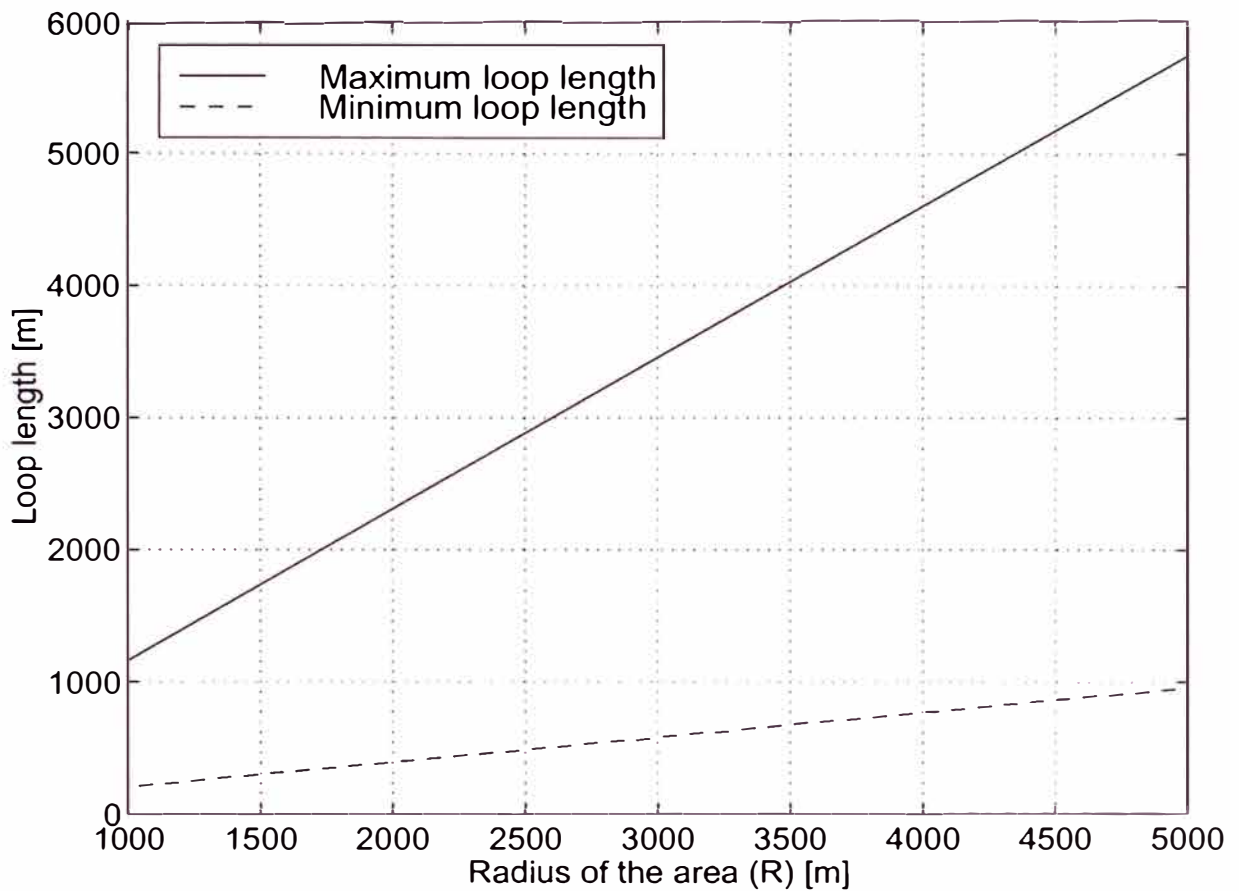


Figura 3-5 Efecto de R en la Longitud del Lazo

Los resultados de los valores para los enlaces pueden ser calculados por medio de las ecuaciones antes descritas como se muestra en la tabla 1:

Tabla 1

Parámetro	Valor	Justificación
R	3 000 m	Predefinido
A	60°	Predefinido
AB, BC, CD, CE	866 m	Ec. (1) y (2)
AF, BF, CF, DF, EF	564 m	Ec. (4), simulación
F→Sub	15 - 293 m	Ec. (5) y (6)
A→Sub	579 - 3.456 m	Ec. (7)

3.2.3 Distribución del Lazo

La capacidad de transmisión ofrecida por los servicios VDSL dependen fuertemente de la longitud del lazo de cobre. Esta longitud es importante para el

diseño de las redes VDSL. Subsecuentemente una distribución uniforme es comparada con una distribución real y finalmente esta distribución es aplicada al modelo de la red de acceso.

3.2.3.1 Distribución Uniforme

La distribución más simple es probablemente una con igual número de subscriptores por unidad de área. Esta distribución es llamada uniforme (figura 3-6). La longitud del lazo es indicada como la distancia del subscriptor al centro del área (LE).

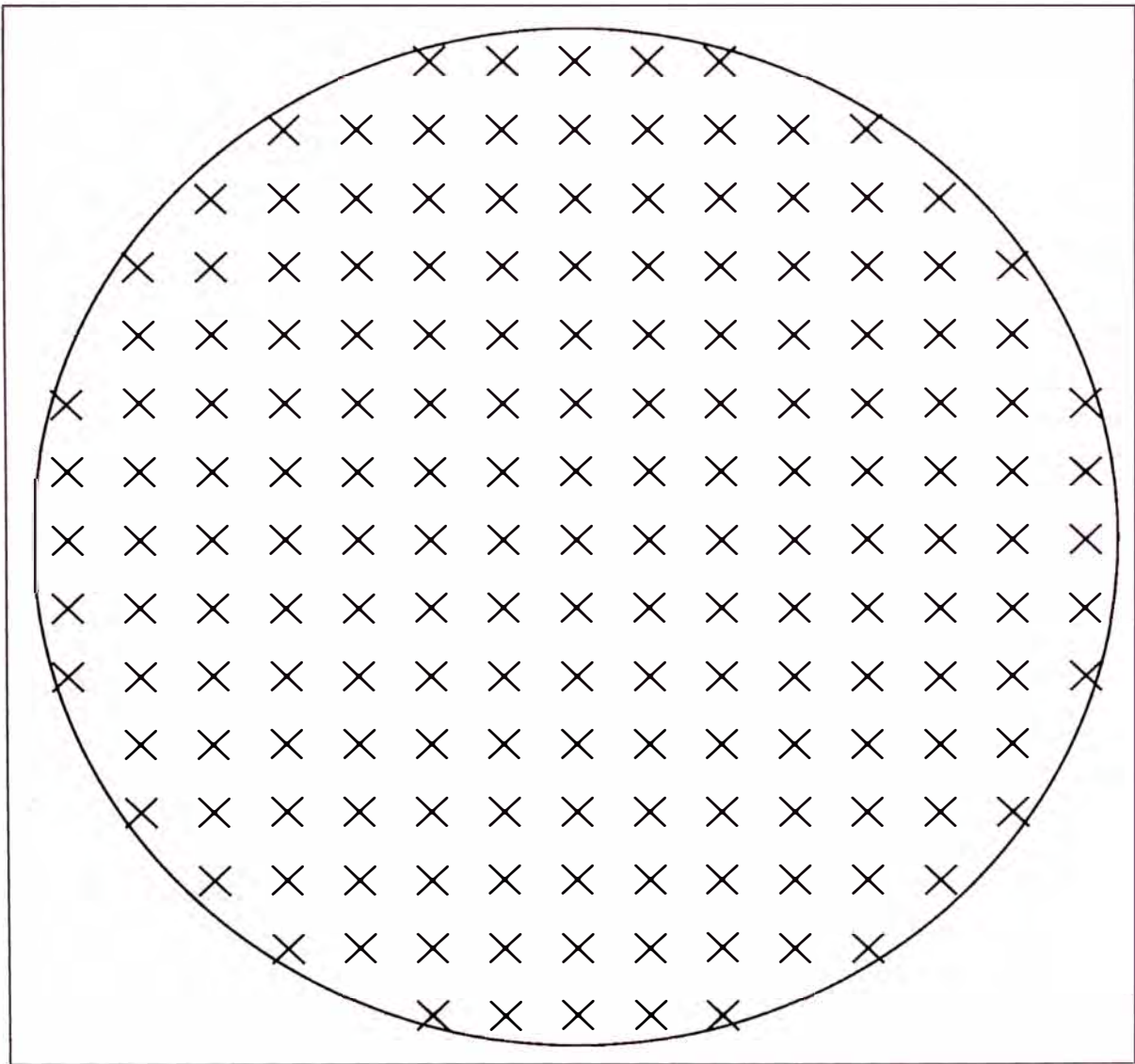


Figura 3-6 Distribución Uniforme de Subscriptores

3.2.3.2 Aproximación de la Distribución Real

La densidad de los subscriptores puede variar mucho de acuerdo al tipo de área. Cuando una red de Acceso es construida, los LE son generalmente localizados en medio de las áreas densamente pobladas. Hay solo algunos subscriptores con lazos de longitud máxima de 5.000m. La longitud promedio de lazo se aproxima a los 1.800m, siendo el 90% de los subscriptores cubiertos con un lazo menor a 3.500m (tabla 2).

Tabla 2

Longitud del lazo	% de Subscriptores alcanzados
1.000	30
2.000	60
3.500	90
5.000	100

3.2.3.3 Distribución de la longitud del lazo en el modelo de acceso a la red

El resultado de cómo distribuir las longitudes de los lazos dependen de cómo los suscriptores se ubican en el modelo. Aquí podemos optar por representar los mismos subscriptores en dos posibles modelos (ver figura 3-7):

- **Distribución Uniforme:** Lo que significa igual número de subscriptores por unidad de área serán distribuidos. La longitud del lazo promedio es de 2.518 m, significativamente más que el caso real.
- **Distribución Real:** Las dimensiones del modelo no cambian para los valores máximos y mínimos de las longitudes de los lazos, solo la distribución de los subscriptores dentro de las diferentes áreas. Esta diferencia de distribución es mostrada para un caso de 1.600 subscriptores (9.600 para todo el LE).

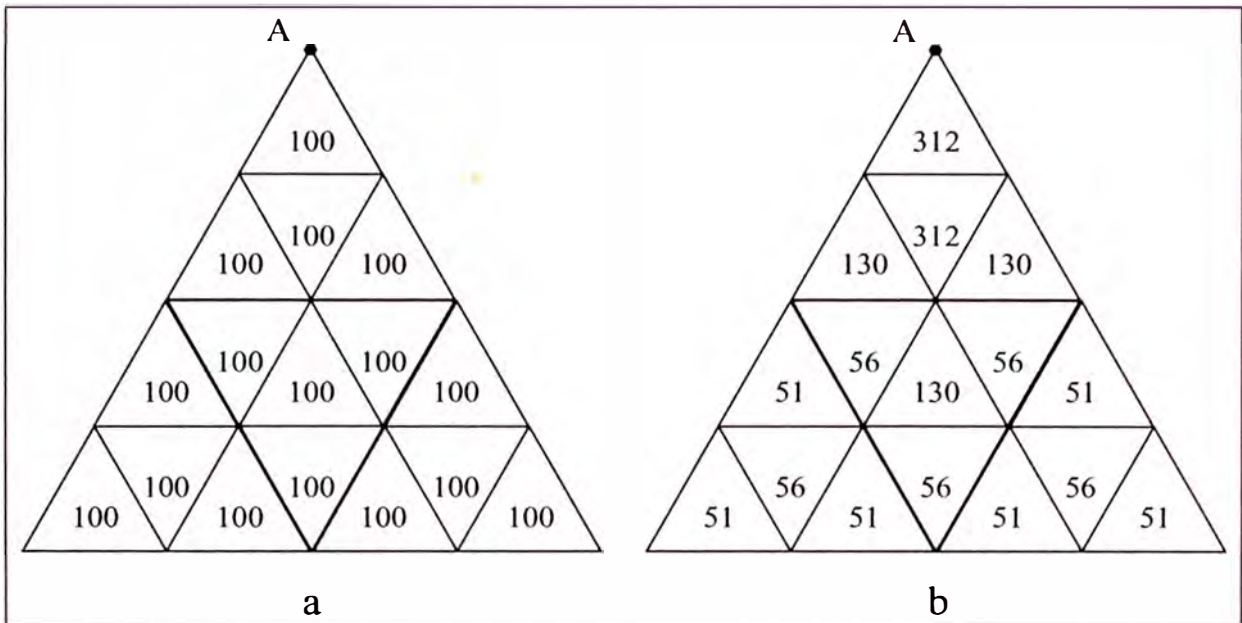


Figura 3-7 Distribución Uniforme (a) y Real (b) aplicado para 1.600 subscribers

La longitud promedio del lazo resultante para el modelo real es de 1.834m. Observar la distribución en la tabla 3:

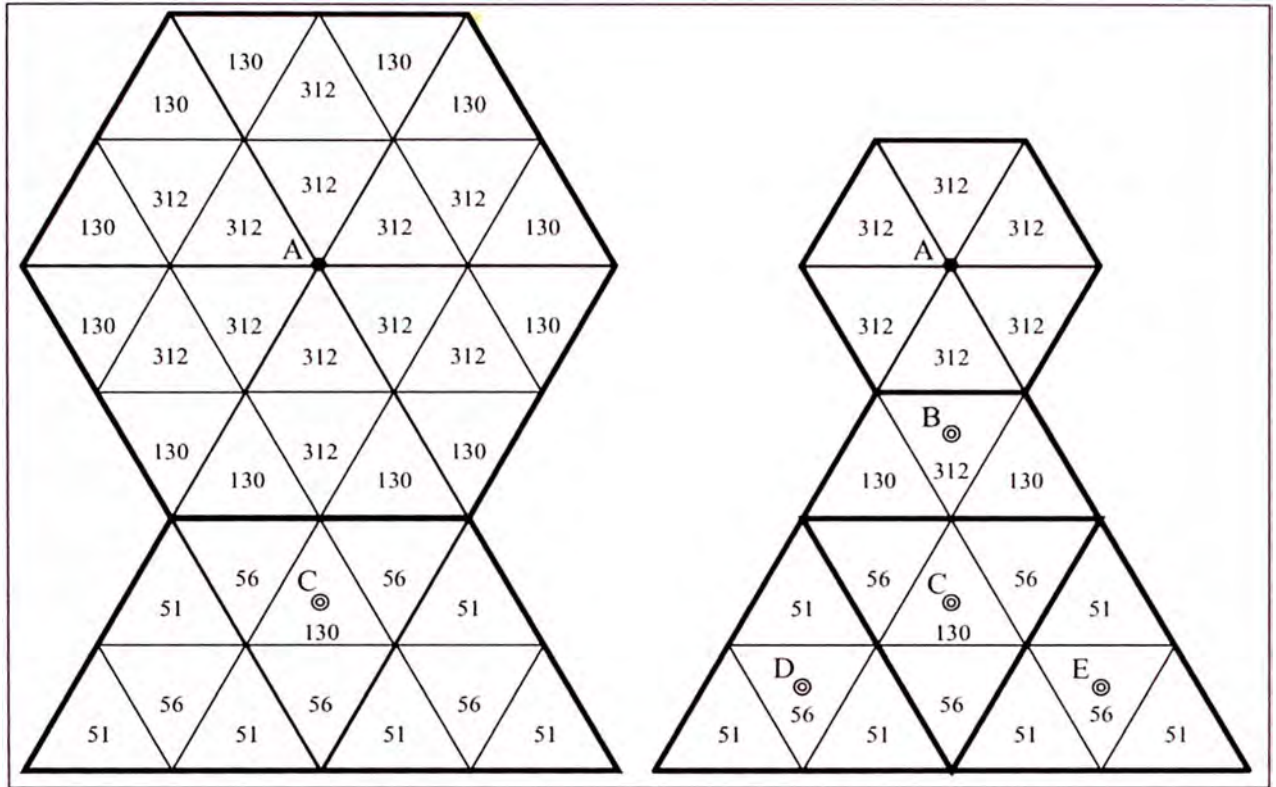
Tabla 3

Área de Distribución	Rango de longitud (m)	Total de subscribers	Subscribers por Área	%	% Acumulado
A_1B_1	579-1.160	624	312	39,0	39,0
$B_2B_3C_1$	1.445-2.026	390	130	24,4	63,4
$C_2C_3C_4D_1E_1$	2.311-2.892	280	56	17,5	80,9
$D_2D_3D_4E_2E_3E_4$	3.177-3.456	306	51	19,1	100,0

3.2.4 Opciones de Tendido de Fibra

En la redes actuales la fibra es adquirida para cubrir hasta el LE (FTTLeX). En la topología necesaria para brindar el servicio VDSL se proponen 4 escenarios de acuerdo al grado de penetración de la fibra óptica, y son representadas como Fibra de A a B (FTAB), Fibra de A a C (FTAC), Fibra de A a B, C, D y E (FTABCDE) y Fibra hacia F (FTF).

Un ejemplo de la ubicación de los ONUs para las topologías FTAC y FTABCDE es mostrada en la figura 3-8.



**Figura 3-8 Áreas cubiertas por nodos de fibra:
FTAC (izquierda) y FTABCDE (derecha)**

Para FTAC todos los subscriptores no pueden ser cubiertos si la máxima distancia VDSL asumida es 1500m.

Lo que se traduce que el servicio VDSL con esta topología no se podría ofrecer a un gran número de subscriptores.

En consecuencia usar una topología FTF hace que se garantice poder cubrir a todos los subscriptores.

Las tablas 4 y 5 muestran la cantidad de ONUs necesarios para cubrir toda el área del LE de acuerdo a las cuatro topologías:

Tabla 4

Topología	ONUs		Modelo Uniforme de Acceso a la red Subscriptores/ONU (máximo lazo 1.500/ todos)	Modelo Real de Acceso a la red Subscriptores/ONU (máximo lazo 1.500/ todos)
Fibra A	1	1 x ONU(A)	1.248 / 9.600	4.044 / 9.600
Fibra A y B	7	1 x ONU(A) 6 x ONU(B)	600 / 600 6 x 412 / 6 x 1500	1.872 / 1.872 6 x 735 / 6 x 1288
Fibra A y C	7	1 x ONU(A) 6 x ONU(C)	1.248 / 2.400 6 x 624 / 6 x 1.200	4.044 / 5.304 6 x 470 / 6 x 716
Fibra ABCDE	25	1 x ONU(A) 6 x ONU(B) 6 x ONU(C) 12 x ONU(D/E)	1 x 600 6 x 300 6 x 400 12 x 400	1 x 1.872 6 x 572 6 x 298 12 x 209
Fibra F	96		96 x 100	12 x 312 18 x 130 30 x 56 36 x 51

Tabla 5

Topología	Lazo de cobre promedio (m) Uniforme	Lazo de cobre promedio (m) Uniforme	Longitud Máx. Par de Cobre
Fibra A	2.518	1.834	3.456
Fibra A y B	1.706	1.137	2.590
Fibra A y C	1.219	1.059	1.724
Fibra ABCDE	623	523	857
Fibra F	200	154	293

Las figuras 3-9 y 3-10 resumen lo referido por la tabla 4.

3.2.4.1 Fibra en A

Actual topología que solo permite ofrecer servicio VDSL a los subscriptores con longitudes de lazo lo suficientemente corto. El número de subscriptores con longitudes por debajo de los 1.500m de lazo es significativamente bajo: 13% para el caso del modelo uniforme y 42% para el modelo real.

3.2.4.2 Fibra de A a B o A a C

Este primer paso evolutivo requiere de 7 ONUs de los cuales 6 son emplazados dentro de la Red de Acceso. La distribución de los subscriptores definirá si se usa A a B o A a C para la ubicación de los ONUs. El porcentaje de subscriptores con longitudes por debajo de los 1.500m de lazo a cubrir es: 52% para el caso del modelo uniforme y 72% para el modelo real.

3.2.4.3 Fibra de A a B, C, D y E

Es la primera topología examinada aquí que hace posible poder brindar el servicio de VDSL a todos los suscriptores en el área LE. Aquí el número de ONUs se incrementa a 25 existiendo algunas diferencias en cuanto a los modelos de acceso a la red asumidos (uniforme y real), pero aún así el servicio VDSL puede ser ofrecido a todos los suscriptores.

3.2.4.4 Fibra de A a F

Esta última topología examinada hace que el número de ONUs se incremente significativamente a 96, con la ventaja que a todos los suscriptores se les puede ofrecer Alta Calidad en el Servicio VDSL.

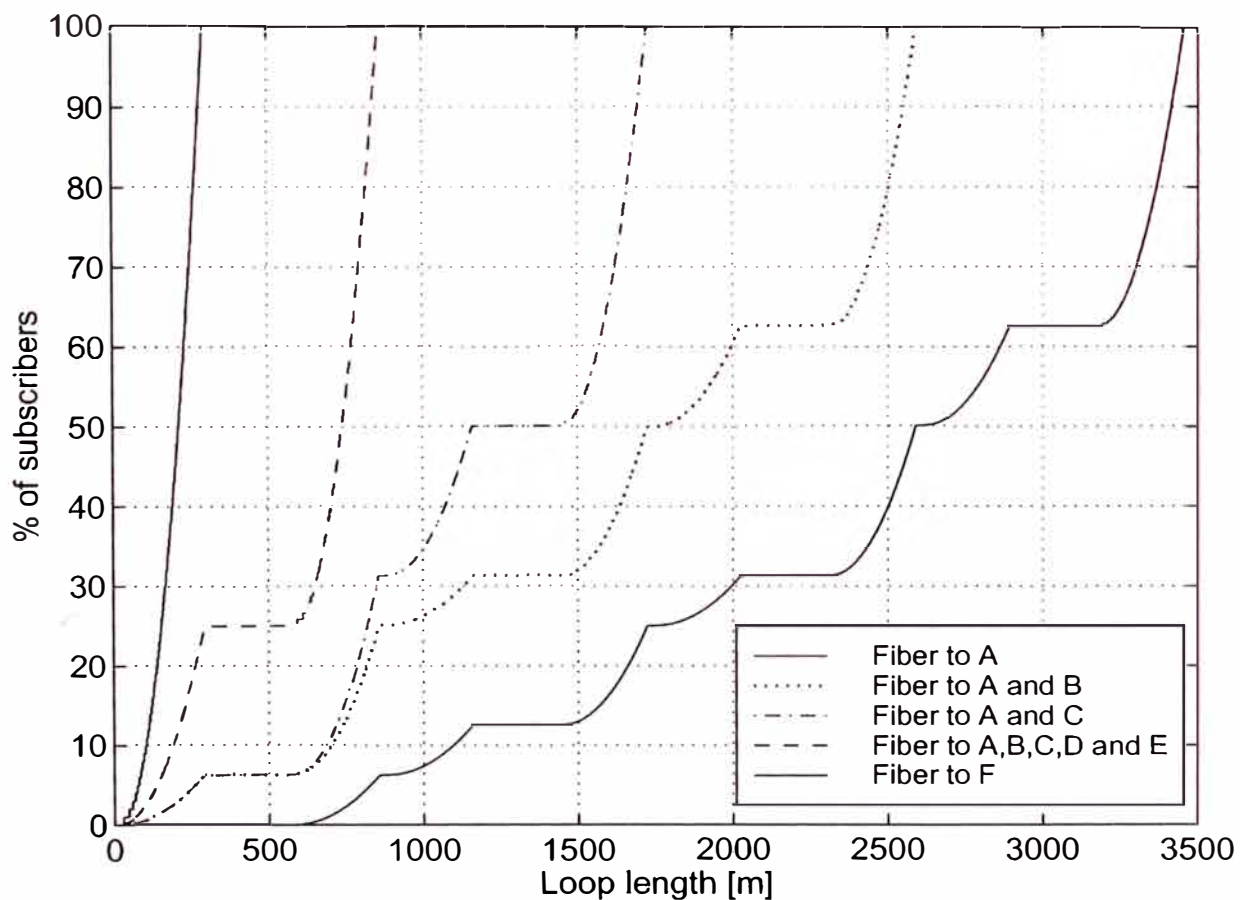


Figura 3-9 Distribución de las longitudes del lazo de cobre con las diferentes topologías acorde al modelo Uniforme

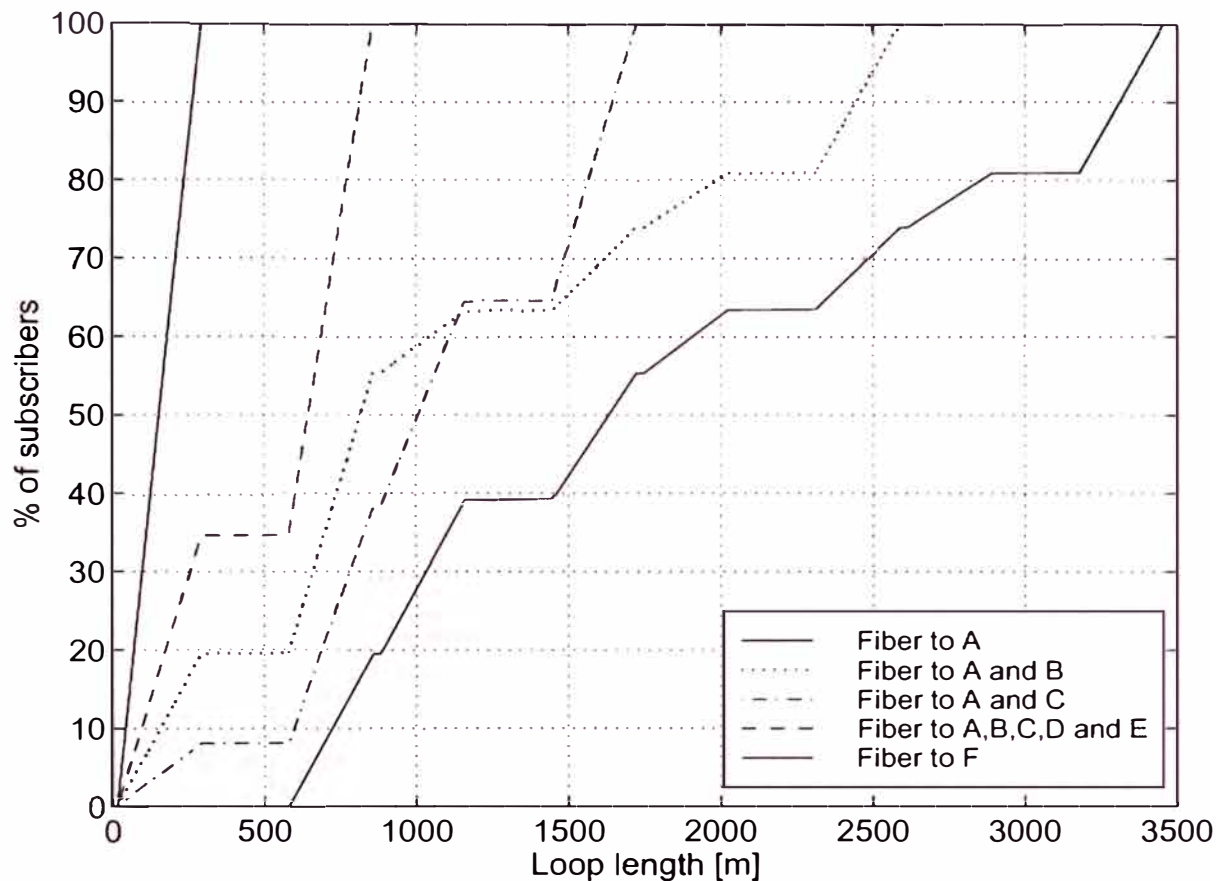


Figura 3-10 Distribución de las longitudes del lazo de cobre con las diferentes topologías acorde al modelo Real

3.3 Capacidad del Sistema VDSL

La capacidad de transmisión que puede ofrecerse a los subscriptores sobre VDSL está limitada no solo a las características del par de cobre sino también al conjunto de restricciones propias del sistema VDSL.

3.3.1 Par de Cobre como Medio de Transmisión

Originalmente el par de cobre no fue diseñado como medio de transmisión de datos de alta velocidad. Como consecuencia aparecen muchos obstáculos que cobran fuertes efectos en la capacidad de transmisión de los sistemas VDSL, tales como tipo de Cable, Atenuación, Crosstalk, Ruido e interferencia Externa.

3.3.2 Capacidad del VDSL sobre el Par de Cobre

La capacidad estimada del VDSL está en función fundamentalmente de la longitud del lazo. Naturalmente existen otros factores como se mencionó anteriormente que afectan en la calidad del servicio. Algunas capacidades fueron estimadas desde diferentes fuentes y están presentadas en la tabla 6:

Tabla 6

Velocidad de datos (Mbps)	Rango Sugerido					
	ETSI VDS98a	ETSI VDS98d	ANSI ANS98	PIC Liu99	Paper Liu99	Ims98a Ims98b
52						
34						200
26	300	300	300	280		300
19		300		450		
13	1.000	1.000		650	375	600
10		1.000	1.000	780	460	800
8				900	550	1.100
6.5		1.000	1.500	1.050	660	
4				1.450	930	1.600

Los valores fueron extraídos de los documentos respectivos del ETSI y ANSI (drafts) para las tres primeras columnas. Las siguientes dos columnas fueron medidas considerando 0.4 mm de Plastic Insulated Cable (PIC) y Paper Insulated Cable. Las atenuaciones y FEXT fueron medidos desde los cables existentes, acorde a Jenne Helenius (“Característica de los pares de cables para las aplicaciones en las líneas de subscriptor de alta velocidad digital”).

La ultima columna de la tabla 6 presenta valores de capacidad acorde al Simposio Internacional de Telecomunicaciones para el Planeamiento de Red (Italia, Octubre del 98: Ims98a) y la Conferencia Global de Telecomunicaciones (Australia, Noviembre 98: Ims98b). Se consideraron aquí cables de 0.4 mm. Ver resumen en la figura 3-11.

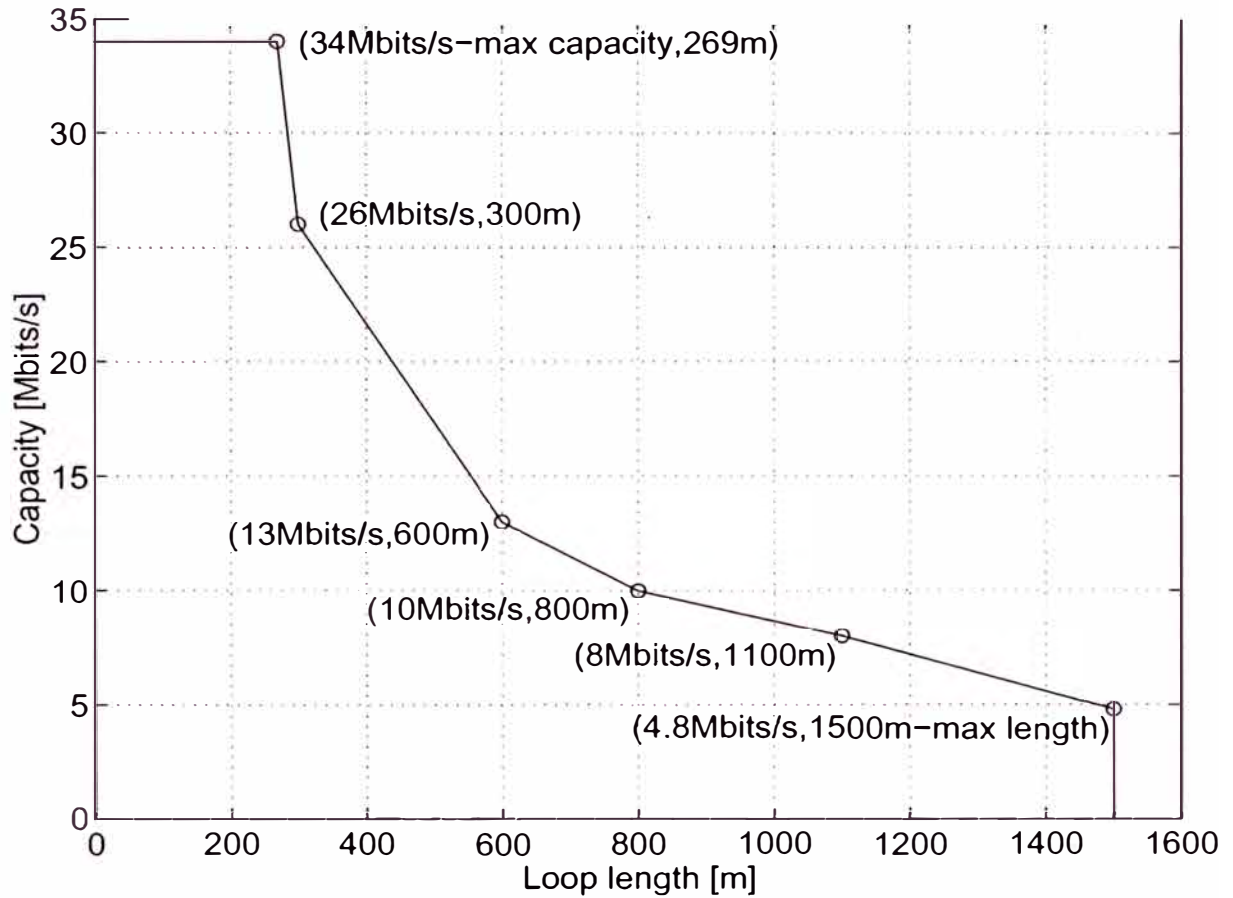
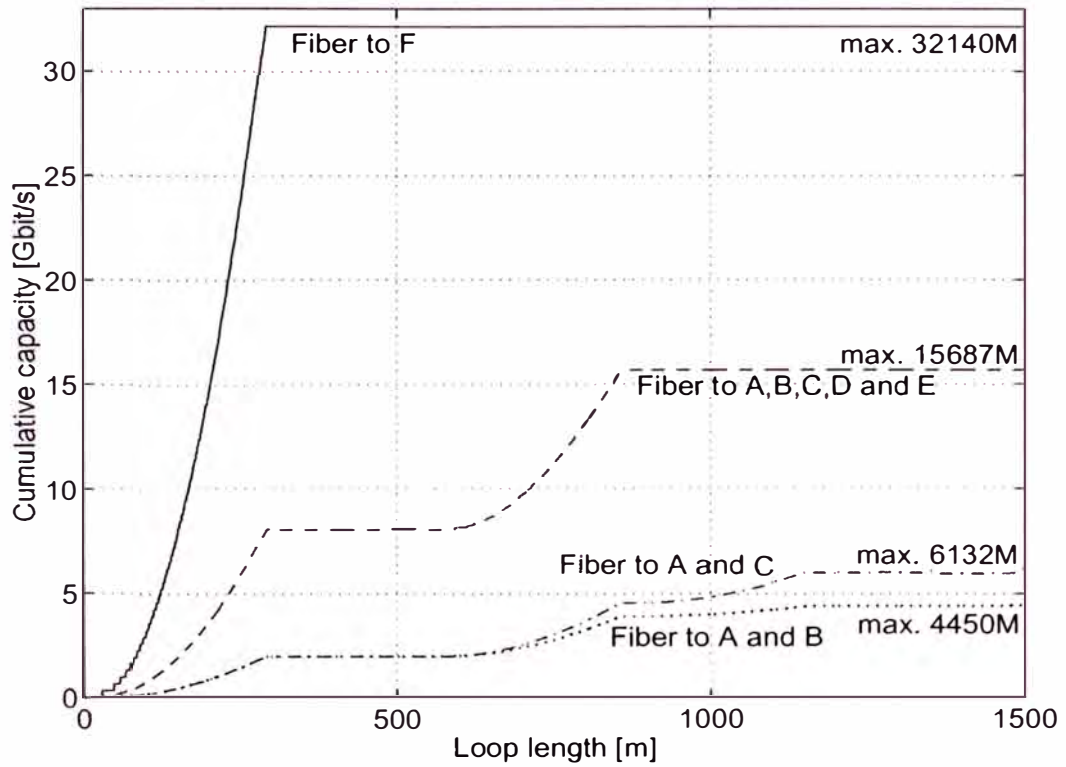


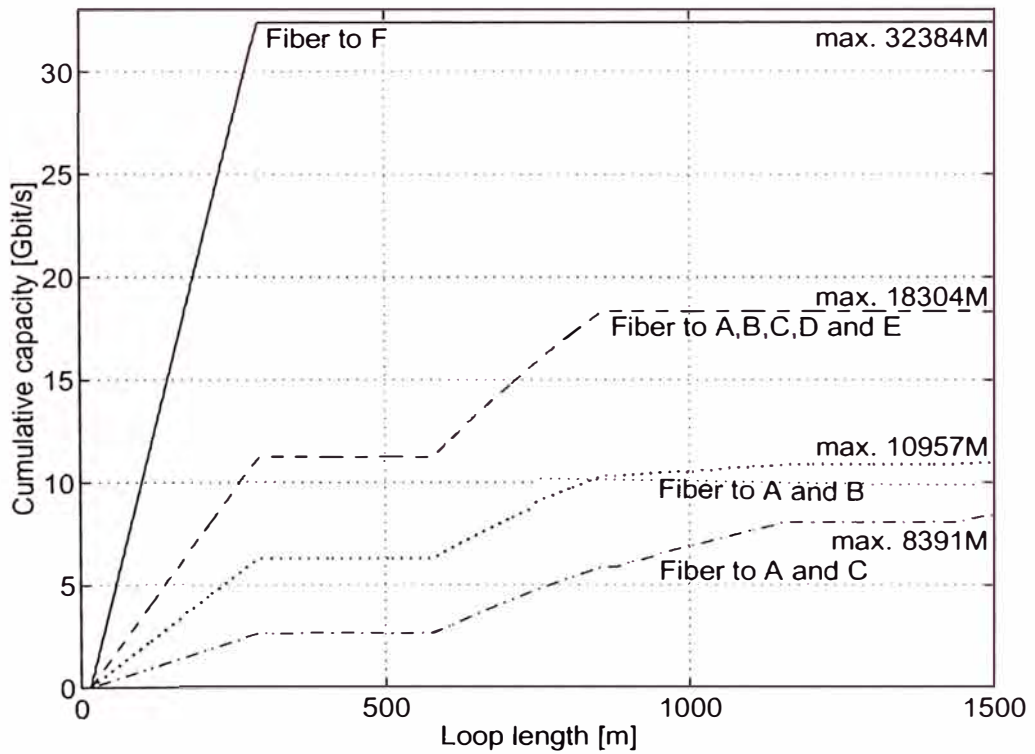
Figura 3-11 Capacidad de Transmisión Simétrica VDSL según Ims98a e Ims98b

3.3.3 Capacidad de la Red VDSL

Aquí se estará asumiendo como capacidad máxima el 10% de toda la velocidad VDSL de acuerdo a cada modelo de red. El número de subscriptores VDSL potenciales está asociado naturalmente al grado de concentración. Las capacidades se resumen en las figuras 3-12 y 3-13 que siguen a continuación:



**Figura 3-12 Modelo UNIFORME: Al 10% del número de Subscriptores VDSL
FTAB: 307; FTAC: 499; FTABCDE: 960; FTF: 960**



**Figura 3-13 Modelo REAL: Al 10% del número de Subscriptores VDSL
FTAB: 628; FTAC: 686; FTABCDE: 960; FTF: 960**

La tabla 7 resume las capacidades totales y promediadas de acuerdo a cada modelo asumido:

Tabla 7

Topología	Modelo Uniforme		Modelo Real	
	Capacidad Total (Mbps)	Capacidad Promedio (Mbps)	Capacidad Total (Mbps)	Capacidad Promedio (Mbits/s)
Fibra de A a B	4.450	14,5	10.957	17,4
Fibra de A a C	6.132	12,3	8.391	12,2
Fibra de A a BCDE	15.687	16,3	18.304	19,1
Fibra de A a F	32.140	33,5	32.384	33,7

Las figuras 3-14 y 3-15 muestran las capacidades aseguradas en porcentajes a los subscriptores acordes a cada tipo de modelo y topologías.

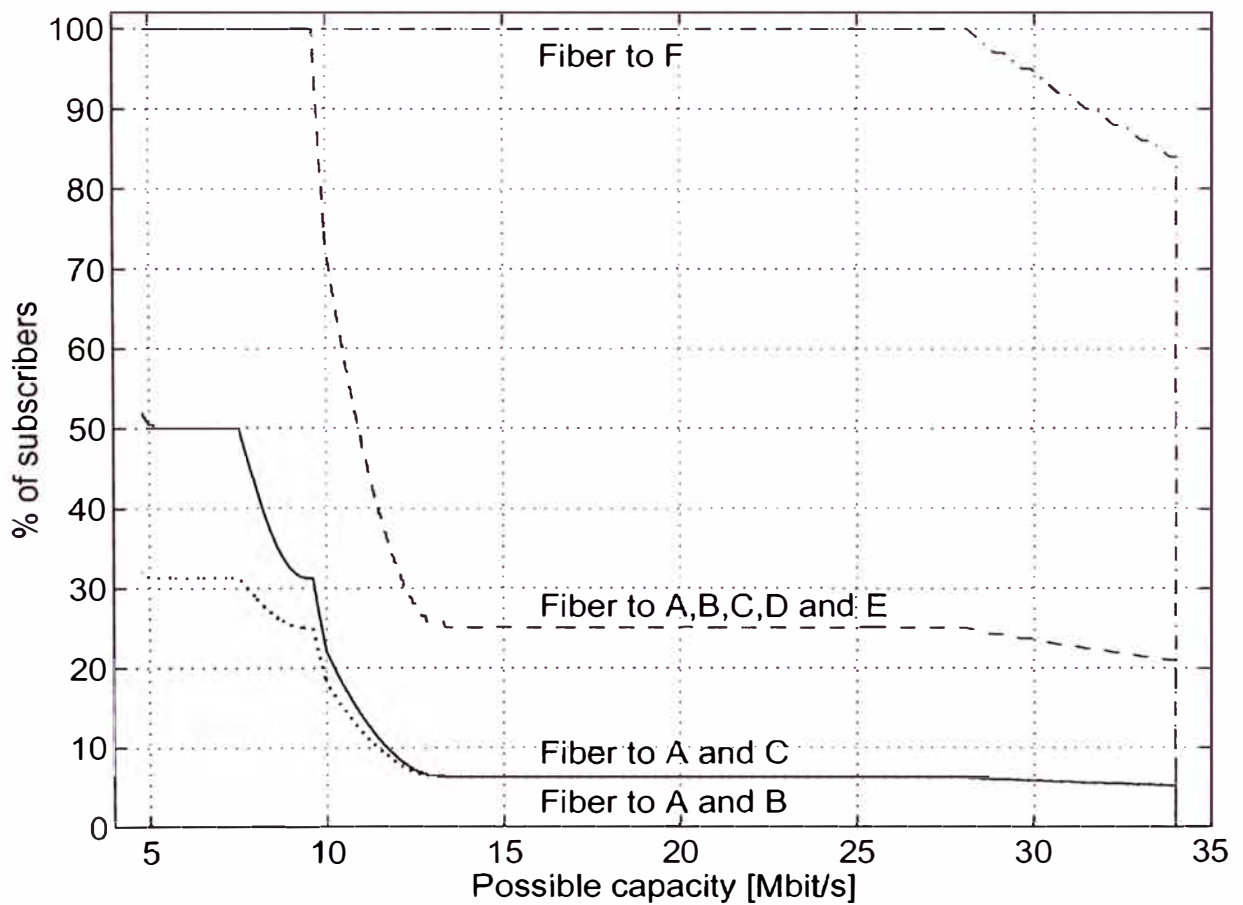


Figura 3-14 Modelo UNIFORME - Para disponibilidad de 10Mbps:

FTAB: 18%, FTAC: 23%, FTABCDE: 74%, FTF: 100%

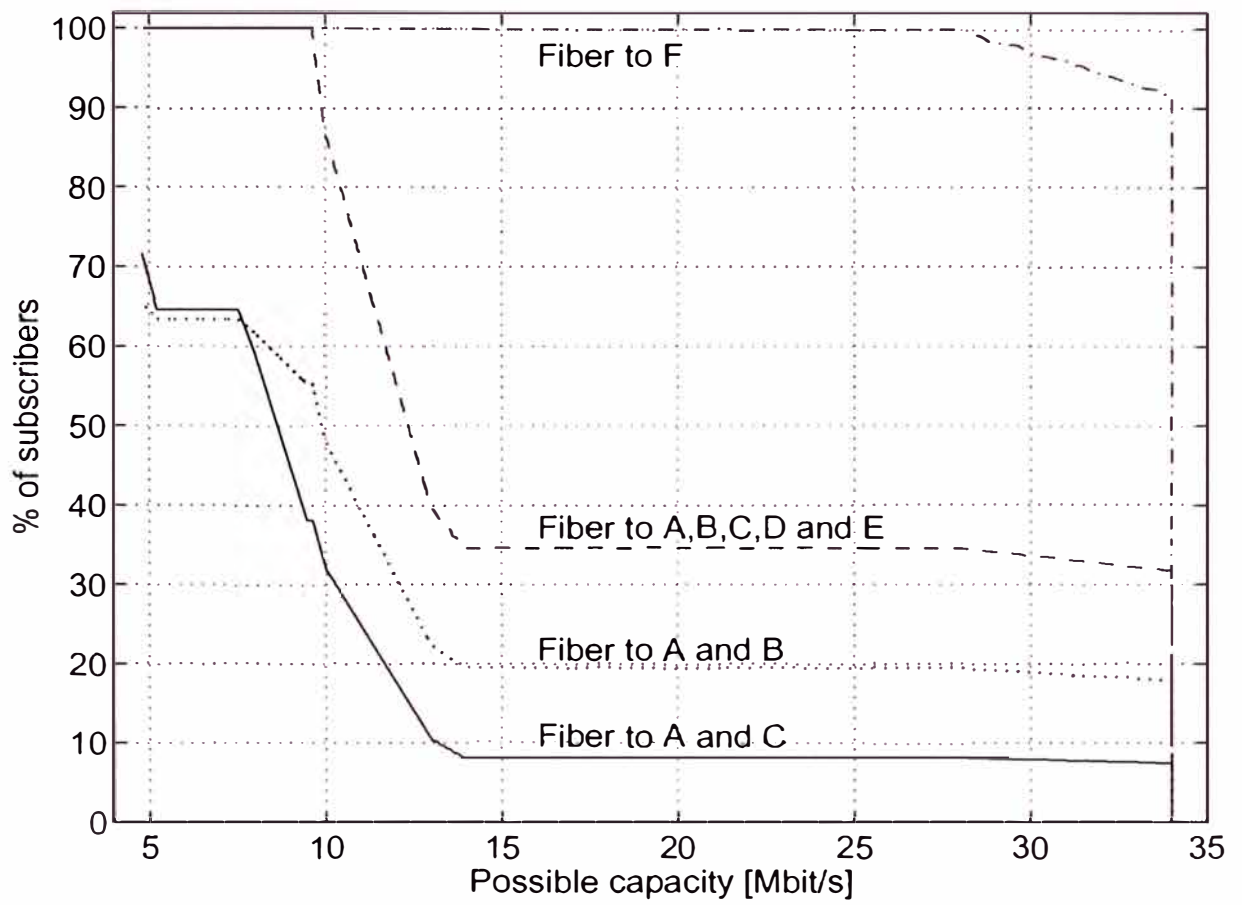


Figura 3-15 Modelo REAL - Para disponibilidad de 10Mbps:

FTAB: 48%, FTAC: 32%, FTABCDE: 87%, FTF: 100%

CAPÍTULO IV

CASO PRÁCTICO

Esta sección tiene como objetivo mostrar una arquitectura de red funcional así como los equipos involucrados para la implementación del servicio VDSL en una red Real de forma que los subscriptores puedan tener acceso a Internet con gran ancho de banda según la estructura mostrada en la figura 4-1.

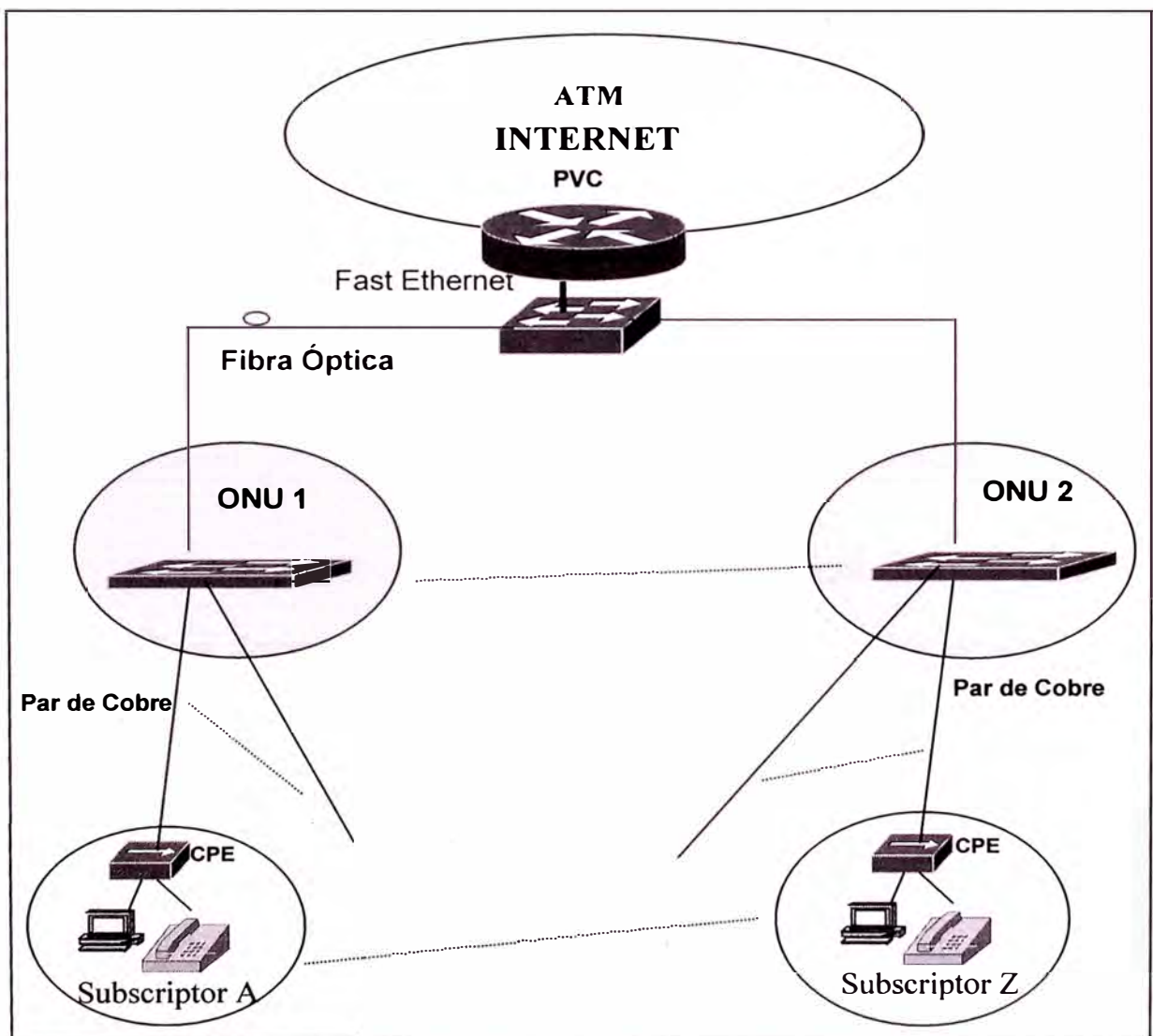


Figura 4-1 Estructura General de la sección de datos

4.1 Tecnología Long-Reach Ethernet (CISCO)

La tecnología de CISCO LRE combina conectividad LAN basada en estándares y un enlace punto a punto para llevar Ethernet en modo half o full duplex hasta 15 Mbps de velocidad. La distancia de trabajo a 2 hilos llega hasta 1.500 metros (*).

4.1.1 Características Generales

Esta tecnología emplea modulación QAM (QAM-256, QAM-128, QAM-64, QAM-32, QAM-16, QAM8 y QAM-4). Tal como se observa en la tabla 8.

Tabla 8

Nombre	Modulación
LRE-5 (up)	QAM-4
LRE-5 (down)	QAM-8
LRE-10 (up)	QAM-16
LRE-10 (down)	QAM-64
LRE-15 (up)	QAM-64
LRE-15 (down)	QAM-256
Public-ANSI (up)	QAM-64
Public-ANSI (down)	QAM-256
Public-ETSI (up)	QAM-64
Public-ETSI (down)	QAM-256

También el LRE está diseñado para soportar Multi QAM de forma que pueda tener un desempeño al límite de su capacidad. El sistema de duplexación utilizado por LRE es el FDD.

4.1.2 Velocidades del LRE

La solución de CISCO utiliza varios tipos de modos predefinidos, que sirve para diferentes tipos de subscriptores. De forma que se puedan ofrecer diferentes tipos de servicios:

- 5 Mbps de Velocidad Simétrica Hasta 1500m (*)

- 10 Mbps de Velocidad Simétrica : Hasta 1200m (*)
- 15 Mbps de Velocidad Simétrica : Hasta 1050m (*)

(*) Estos valores son datos otorgados por el fabricante (CISCO), mas adelante en la Práctica se verá que existen algunas diferencias al realizarse las pruebas de campo respectivas.

4.2 Equipos a ser considerados en la Solución LRE

La solución incluye principalmente 3 dispositivos de hardware que se detallan a continuación:

4.2.1 Catalyst 2924 LRE XL



Ilustración 1

Este switch está basado en la plataforma Catalyst 2900 de CISCO.

Puertos Long-Reach Ethernet : 24 (R-J21)

Puertos Fast-Ethernet: 4 10/100 (RJ-45)

Soporta : 802.1 Q VLANs y 802.1p CoS

Administración: CLI

Seguridad: Autenticación vía TACAS+; Control Multicast;

4.2.2 CISCO 575



Ilustración 2

Este dispositivo compacto convierte el LRE en Ethernet. Provee un puerto RJ-45 y 2 conectores RJ11, uno para la pared y el otro para el teléfono.

Integra además el POT Splitter correspondiente para desagregar la línea telefónica del LRE. Este equipo también puede ser montado sobre la pared o sobre el escritorio. Su administración se realiza remotamente desde un switch utilizando interfase WEB.

4.2.3 CISCO LRE 48 POTS



Ilustración 3

Este dispositivo pasivo de alta densidad, coexiste sobre el mismo cableado de cobre con el Tráfico LRE.

Este dispositivo recibe el tráfico proveniente de cada uno de los 48 Puertos y separa la voz de los Datos en una dirección y junta estos en la otra. La voz es entregada al sistema de telefonía tradicional y los datos hacia los Catalyst 2924 LRE XL.

4.3 Arquitectura LRE Considerada

La estructura considerada se muestra en el figura 4-2, en ella se identifican los ONUs (Catalyst 2924 LRE), CPE (CISCO 575), así como un switch concentrador de LREs vía fibra óptica y este a su vez conectado a alta velocidad a un Router quien finalmente da la salida a internet.

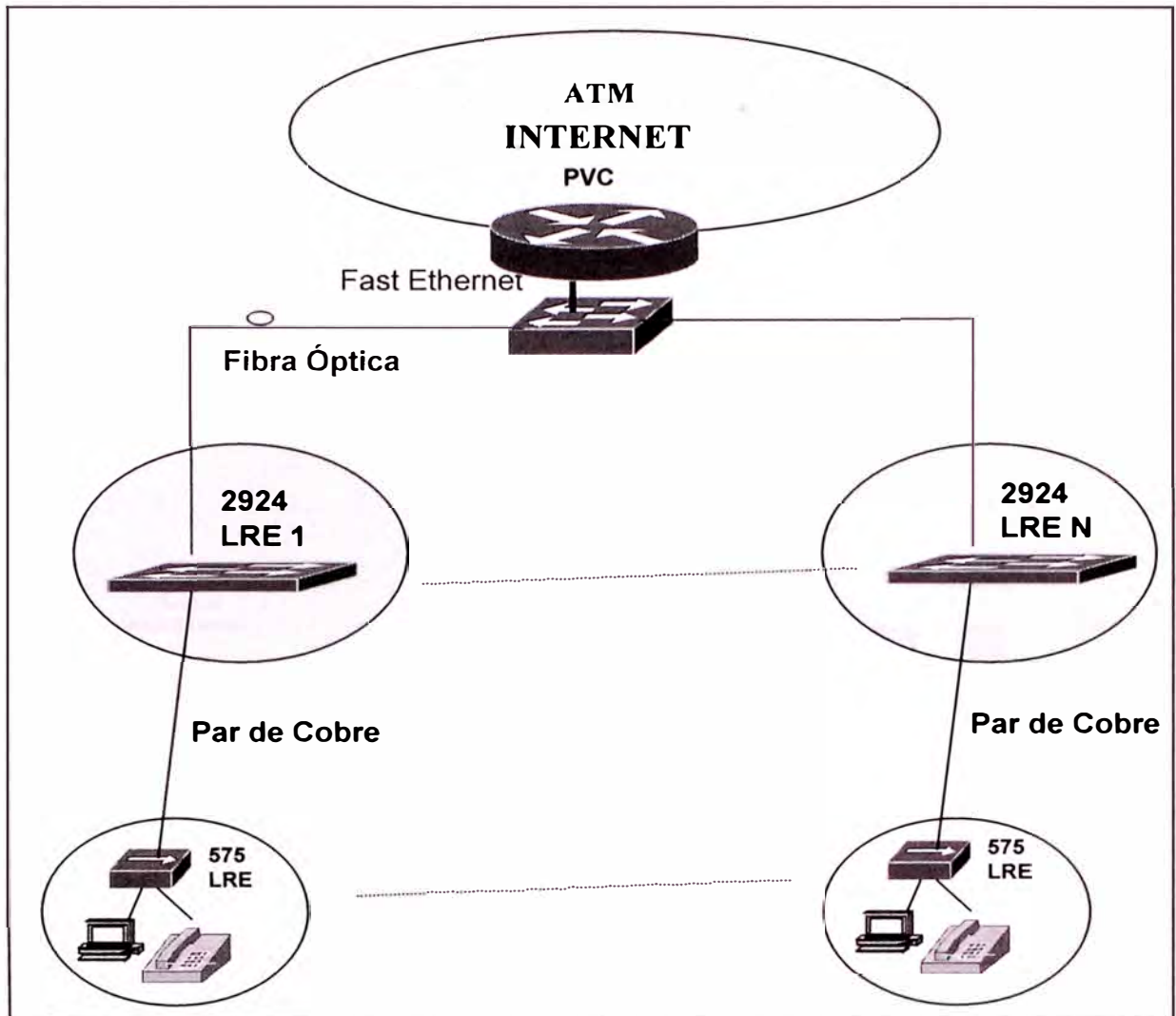


Figura 4-2 Esquema General LRE - VDSL

4.3.1 Escenario a Implementarse

Este escenario consiste en un router de gran capacidad capaz de integrar sin ningún tipo de conflicto el switch concentrador de LRE a través de configuraciones lógicas que luego se detallarán. El switch concentrador considerado es el Catalyst 3524, el mismo que ofrece 24 puertos 10/100 BaseT y 2 puertos Giga-Ethernet como up link. Las conexiones de los LREs al switch 3524 se realizan por medio de fibra óptica a través de dispositivos de conversión adecuados (MC: Media Converter). El LRE se conecta a su Splitter correspondiente a través de su conector RJ21 que lleva 24 puertos LRE. Aquí el Splitter concentra también los 48 puertos análogos (POTs)

entregados por la PSTN a través de 2 Puertos RJ21, para luego mezclar las señales de Datos y Voz. A la salida del Splitter este se conecta al MDF correspondiente y este a su vez al MDF de la planta externa con sus respectivos protectores de línea (figura 4-3).

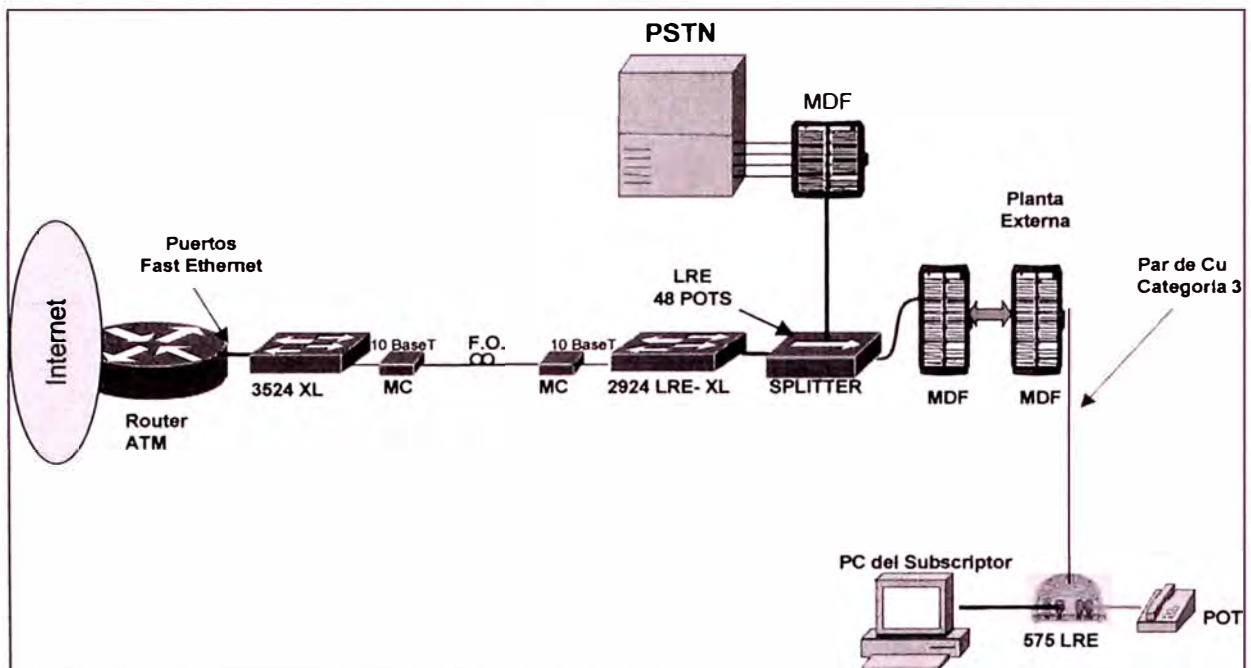


Figura 4-3 Detalle de escenario a implementarse

En este punto el par de cobre transporta el servicio VDSL (LRE) hasta el CPE (Cisco 575) el mismo que integra un Splitter para separar el POT y por otro lado entregar finalmente la interfase 10 BaseT para la conexión correspondiente de la PC del subscriptor.

4.3.2 Pruebas sobre el Escenario Planteado

Las pruebas cubren la parte de datos y las opciones de configuración correspondientes. El objetivo es dar las pautas necesarias para verificar la funcionalidad de la solución. Se ha omitido por esta razón el detalle de los comandos y configuraciones a nivel de programación de los equipos (figura 4-4).

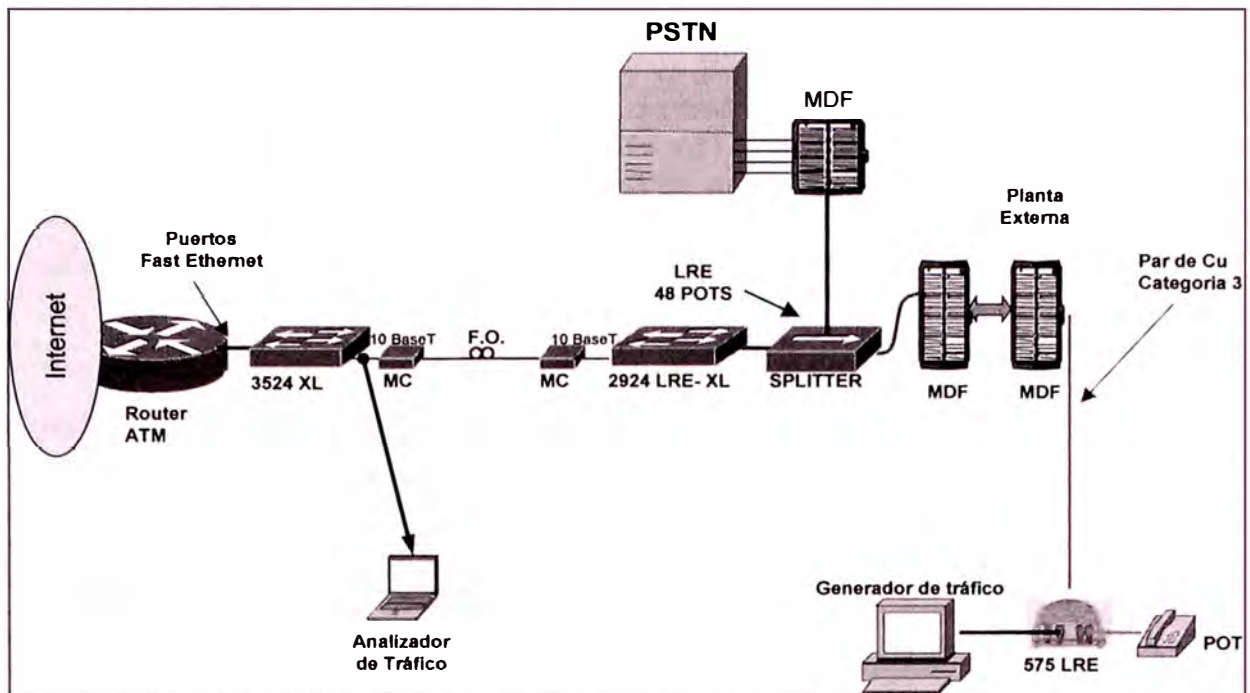


Figura 4-4 Escenario y puntos prueba

4.3.2.1 Interfaces ISL

Las interfaces ISL se concentran usando un bridge-group asociándose a una interfase BVI. Se configura direcciones IP estáticas en las PCs. Se verifica la conectividad entre PCs usando paquetes de datos (ICMP) con tamaño variable. Se debe también verificar la conectividad de las PCs hacia Internet usando paquetes ICMP con tamaño variable.

4.3.2.2 Asignación dinámica de direcciones IP (DHCP)

Se realizan las configuraciones necesarias para la concentración de interfaces ISL sobre una BVI, retirando la configuración estática de direcciones en las PCs. Se configura un pool DHCP para asignación dinámica de direcciones IP.

Se realiza la verificación de la asignación de direcciones IP en las PCs así como su conectividad utilizando paquetes ICMP de tamaño variable. También se verifica la conectividad respectiva a Internet usando paquetes variables ICMP.

Se solicita nuevas direcciones IP desde las PCs, haciendo un refresco en ellas y se verifica la correcta asignación de nuevas direcciones. Adicionalmente se configura un filtro con un número máximo de mac-address en el Switch 2924 LRE. Con esto se verifica la asignación de IP a solo una de las PCs.

Luego se cambia el número de mac-address y se verifica la asignación de direcciones IP a esta nueva cantidad de direcciones MAC.

4.3.2.3 Limitación de ancho de banda

Las configuraciones anteriores se mantienen, se procede a configurar el rate-limit en las interfaces ISL y se verifica su correcta configuración con el bridge-group en la sub-interface ISL.

Se verifica la conectividad entre PCs llegando al máximo ancho de banda configurado.

Se verifica la conectividad de las PCs a Internet llegando al máximo ancho de banda asignado.

4.3.2.4 Asignación estática de direcciones IP a través del DHCP

Se mantiene la configuración de concentración de interfaces ISL sobre una BVI. Se debe configurar DHCP estático para una de las PCs asociando su mac-address a una dirección IP.

Se verifica la conectividad entre PCs usando un paquetes ICMP de tamaño variable. Luego se verifica la conectividad de la PC a Internet usando paquetes ICMP. Retirar luego los filtros de número máximo de mac-address en el LRE.

Instalar la otra PCs usando un hub sobre el Cisco 575-A y verificar que esta pueda obtener una dirección dinámica del DHCP.

4.3.2.5 Algunos Resultados de las Pruebas

La tabla 9 muestra algunos valores de la planta de cobre tomadas a diferentes distancias.

Tabla 9

Distancia (Metros)	Resistencia (Ohm)
512	44
636	55
836	71,7
920	78,7
1.000	85,4
1.165	100,3
1.363	114,5

Las medidas de distancia fueron hechas con el SLT - 11 (Subscriber Line Tester) y la resistencia con multímetro. El tipo de cable utilizado en la planta externa de cobre es categoría 3 (AWG 24 - 0.511mm).

Las pruebas de eficiencia del LRE, utilizando todos los parámetros para la distancia de 512m son mostradas en la tabla 10:

Tabla 10

Profile	Stado	Velocidad promedio (Bits/seg.)	Tiempo promedio del retardo del paquete
Global: Public-ANSI	Paso	3.970.000	40ms
Global: Public-ETSI	Paso	3.970.000	45ms
LRE-5	Paso	5.301.000	50ms
LRE-10	Paso	7.496.676	24ms
LRE-15	Paso	7.501.456	18ms
Mode-Zero (*)	Paso	1.299.814	5ms

(*) El Mode-Zero: Es un nuevo profile que aun no es público, pero tiene buenos resultados tal como se puede apreciar en la tabla 10, siendo sus características las siguientes:

Port	Link	Uptime	Profile	DSRate	USRate	Fail
Lo0/1	UP	17:43:08	Mode-Zero	4.167	1.563	0

4.3.3 Consideraciones del cableado

El tipo de cable que se debe utilizar para este proyecto o las consideraciones que se deben tener en cuenta en la planta de cobre para poder brindar un buen servicio de acceso a Internet son:

- **Cable categoría 3 de 0.511mm (24 AWG)**
- **Características Eléctricas**

La tabla 11 resume las características eléctricas.

Tabla 11

Resistencia Eléctrica (20 °C)	< 93,08 Ohm /Km.
Desbalance resistive	< 5 %
Capacitancia Mutua	< 66 uF / Km
Desbalance capacitivo	< 3.300pF/ Km
Impedancia característica	< 100 Ohm +/- 15 %

- **Característica de Transmisión**
 - **Especificaciones de atenuación del cable UTP**

La tabla 12 muestra la atenuación máxima permitida, en DB por Kilómetro, en diversas frecuencias para la Categoría 3.

Tabla 12

Atenuación máxima permitida a 20 ° C	
Frecuencia (Mhz)	Atenuación (DB/Km)
0,772	22
1	26
4	56
8	85
10	97
16	131

- **Atenuación de los equipos de conexión de UTP**

La tabla 13 muestra la atenuación máxima permitida, en DB a diversas frecuencias para la Categoría 3.

Tabla 13

Atenuación máxima permitida a 20 ° C	
Frecuencia (Mhz)	Atenuación (DB)
0,772	0.4
1	0.4
4	0.4
8	0.4
10	0.4
16	0.4

- **Especificaciones de Diafonía del cable UTP**

La tabla 14 muestra el peor caso de diafonía de extremo cercano (NEXT) de par a par, en DB que se permiten en diversas frecuencias para la categoría 3.

Tabla 14

Diafonía máxima permitida a 20 ° C	
Frecuencia (Mhz)	Diafonía (DB)
0,72	43
1	41
4	32
8	27
10	26
16	23

- **Diafonía en el equipo de conexión UTP**

La siguiente tabla 15 muestra el peor caso de diafonía de extremo cercano (NEXT) de par a par, en DB que se permite para diversas frecuencias para el equipo de conexión de UTP.

Tabla 15

Diafonía máxima permitida a 20 ° C	
Frecuencia (Mhz)	Diafonía (DB)
1	58
4	46
8	40
10	38
16	34

○ **Características Dimensionales - Autoportado**

La tabla 16 muestra las dimensiones de cables autoportados.

Tabla 16

Número	Diámetro Conductor (mm)	Diámetro Mensajero (mm)	Espesor de cubierta		Dimensiones Ancho*Alto (mm)	Peso Aprox. Kg./Km.
			Núcleo (mm)	Mensajero (mm)		
Pares						
20	0,511	4,76	1,3	1,3	14,2*24,6	344
50	0,511	4,76	1,5	1,3	19,5*29,8	545

○ **Características Dimensionales - No Autoportado**

La tabla 17 muestra las dimensiones de cables no autoportados.

Tabla 17

Numero de pares	Diámetro del conductor (mm)	Espesor de cubierta (mm)	Diámetro exterior (mm)	Peso aproximado (Kg / Km.)
100	0,511	1,5	22,9	740
200	0,511	1,8	35,5	1.409
300	0,511	2,0	42,7	2.062
400	0,511	2,3	49,1	2.729

4.4 Troubleshooting

4.4.1 Instalación

Se hace necesario fijar y evaluar la calidad del enlace para el enlace LRE para cada instalación. Los dos comandos mas utilizados para la evaluación de la calidad del enlace desde los mismos equipos CISCO son:

```
show controller lre status eft local
```

```
show controller lre status eft remote
```

Para ambos comandos se requiere que este habilitado el servicio interno.

Otro comando útil el cual muestra el estatus del enlace es:

```
show controller lre status profile
```

La siguiente columna muestra los encabezados que aplican con los tres comandos listados anteriormente:

Port – El puerto LRE para la fila de datos.

Link – Estado del enlace, UP/DOWN.

Uptime – Duración en que el enlace ha estado en up. Notar que algunos enlaces fallan pero no limpian el timer.

Profile – Nombre del profile activado

DSRate - El Downstream Raw Data Rate. Sustrae aproximadamente el 9% de la velocidad equivalente Ethernet.

USRate - El Upstream Raw Data Rate. Sustrae aproximadamente el 9% de la velocidad equivalente Ethernet.

Fail – El número de eventos en que fallo el enlace. Notar que este contador es puesto a cero cuando la unidad de potencia es apagada o reiniciada. El comando status de “profile” muestra las fallas locales.

8C70 – valor de registro interno, no definido.

8C71 – Valor de registro interno. Puede ser “AE” para un buen enlace.

SNR – Signal to Noise ratio (approximate in dB). Altos valores indican mejor margen de ruido.

RS Errs – Reed-Solomon errors. El Reed-Solomon Forward Error Correction Circuit corregirá pequeños bursts de errores de modo que los eventos de ruido no causen errores Ethernet FCS.

TxPwr – Potencia transmitida (aproximadamente in dBm/Hz). Este es inalterable por el switch y ajustado automáticamente por el CPE.

SwAGCGain – Software controlled Automatic Gain Control, Gain setting (aproximadamente en dBm). Esto nos da un resultado directo del nivel de potencia recibido. Altos valores indican que la potencia recibida es baja.

8214, 8216, 8217, 8218 – valor de registro interno, no definido.

SwRst – Software Reset Count.

4.4.2 Signal to Noise Ratio

El enlace puede no establecerse si el SNR es insuficiente. Cada Profile tiene diferentes valores mínimos de SNR. Los mínimos valores de SNR para el equipo local como para el remoto se muestran en la tabla 18.

Tabla 18

PROFILE	Mínimo Teórico	Mínimo Práctico	Mínimo Práctico
LRE-5	Local 13db, remote 19db	Local 15db, remote 21db	Local 17db, remote 23db
LRE-10	Local 19db, remote 25db	Local 21db, remote 27db	Local 23db, remote 29db
LRE-15	Local 25db, remote 31db	Local 27db, remote 33db	Local 29db, remote 35db
Public-Ansi	Local 19db, remote 25db	Local 21db, remote 27db	Local 23db, remote 29db
Public-Etsi	Local 19db, remote 25db	Local 21db, remote 27db	Local 23db, remote 29db
Link	Local 13db, remote 19db	Local 15db, remote 21db	Local 17db, remote 23db

Si la relación SNR es demasiada baja para el entorno pero el enlace aún está establecido, el **RS error rate** podría ser alto y el enlace podría ser inestable (Esta inestabilidad se muestra en el contador de número de eventos fallados). Si la red está siendo utilizada solamente por datos, una alta incidencia de Ethernet FCS errors o micro-interrupciones pueden ocurrir.

Los niveles de ruido son muy difíciles de medir, en adición a esto es particularmente difícil medir el rango de ruido dinámico

4.4.3 Comandos para el Troubleshooting

A continuación se lista una serie de comandos útiles para el chequeo del status de las líneas y equipos LRE involucrados:

- `show controller lre profile mapping [<interface>]`

Muestra el profile de cada puerto.

- `show controller lre profile names`

Muestra los profiles disponibles.

- `show controller lre status profile [<interface>]`

Muestra los profiles mapeados a cada puerto.

- `show controller lre status link [<interface>]`

Muestra el status y el SNR local del enlace.

- `show controller LRE version [<interface>]`

Muestra el firmware aplicado a cada Puerto y si este está conectado a cada CPE.

- `show controller LRE version mfg [<interface>]`

Muestra la versión de fabricación del switch and si este está conectado a cada CPE

- `clear controller lre log [<interface>]`

Borra el controlador de log

- show controller lre log [<interface>]

Muestra el controlador de log

- show controller lre <interface> actual

Drserrs Down stream RS errors

Urserrs Upstream RS errors

Txpower Transmit power

Rxpower Receive power

Snr Signal to noise ratio

Link Link status

- show controller lre <interface> admin

Dsrate Downstream set rates

Usrate Upstream set rates

- [no] debug lre controller [<interface>]

Usado para el debug del controlador del LRE

- [no] debug lre profile [<interface>]

Usado para el debug del profile del LRE

- [no] debug lre state [<interface>]

Usado para el debug del estado del LRE

- [no] debug lre errors [<interface>]

Usado para el debug de errores LRE

- show controller lre status eft local [<interface>]

Muestra la información vital del switch LRE

- show controller lre status eft remote [<interface>]

Muestra la información vital del CPE LRE

- `show controller lre status fsm [<interface>]`

Muestra información Vital en los campos de los estados del equipo.

FSM es lo que el IOS usa para hacer lo básico

FSM en el VDSL chipset necesita corresponder el FSM en el IOS.

- `set remote lre <interface> patch <patchfile>`

Usado para realizar el Upgrade individual del CPE.

- `set local lre <interface> patch <patchfile>`

Usado para realizar el Upgrade de cada puerto individual LRE.

- `show local ethernet-statistics <interface>`

Muestra estadísticas de los 4 puertos 10/100 Uplink sobre el LRE.

- `show remote ethernet-statistics <interface>`

Muestra estadísticas Ethernet en los puertos respectivos del CPE.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE COSTOS

Es posible usar diferentes estrategias para el diseño de los modelos de Red. El objetivo puede ser producir un modelo clásico con un alto número de parámetros. Este tipo de modelos es necesariamente más acorde cuando la red está en construcción. En las primeras etapas del planeamiento de red, cuando futuros cambios y diferentes estrategias son estudiados, modelos con los parámetros más importantes son más útiles. Algunos tipos de análisis de sensibilidad son necesarios en la medida de poder identificar los parámetros relevantes. Este tipo de modelo es llamado también Modelo Macroscópico que es con el que la red VDSL es modelada en este capítulo.

5.1 Modelo de Costo

La inversión para mejora y cambios de la red puede ser distribuida en:

- Inversión en infraestructura de cable (Obras civiles, ductos, nuevos cables).
- Inversión en Servicios Básicos (Terminales ópticos de Línea, unidades ópticas de Red).
- Inversión en Servicios Específicos (Parejas de Módems VDSL)

El costo total para el Upgrade de la red de telefonía convencional a una red VDSL es la siguiente:

Ecuación 8

$$C_{TOT} = C_{CABLE} + C_{SITE} + C_{ONU} + C_{COLT} + C_{VDSL} + C_{OAM} + C_{REST}$$

C_{total} = Costo Total

C_{cable} = Costo total del Cable, fibra, excavaciones y tendidos de esta.

C_{site} = Costos del ONU, ubicación física e instalación.

C_{ONU} = Costos del ONU, equipos y energía.

C_{OLT} = Costos del OLT, equipos, energía, instalación.

C_{VDSL} = Equipos NT & LT , instalación.

C_{OAM} = Equipos OAM, costos referidos después de la instalación.

C_{REST} = Otras posibilidades de costos.

5.2 Análisis de los Componentes de Costo

Algunos componentes de la Ecuación 8, están a su vez formados por muchos otros componentes. En adelante se observará las componentes del cable, lugar, ONU y VDSL. Los costos OAM y OLT son también importantes pero se convierten en gastos permanentes por un aspecto de operatividad del Servicio, parte de estos gastos están ya incluidos en los costos del Equipamiento del ONU.

5.2.1 Costo del Cableado

Aquí es importante hacer una buena estimación de la inversión de planta externa necesario en lo que se refiere al cableado. Esto constituye los trabajos de excavación, tendido aéreo, canalización necesaria, así como también la adquisición de nuevo cable y los trabajos correspondientes de instalación.

Ecuación 9

$$C_{cable} = C_{fiber}[\text{cable type, meters}] + C_{work}[\text{area type, meters}] + C_{end}[\text{number of fibers}]$$

C_{cable} = Costo total del Cable

C_{fiber} = Costo de la fibra

C_{work} = Costos por excavación o tendido e instalación de cable

C_{end} = Terminación de la fibra, instalación del cable para su uso

5.2.2 Acondicionamiento del ONU (Site)

Uno de los principales problemas con el tendido y acondicionamiento de equipos, es la ubicación del ONU, considerando la falta de espacios necesarios con los respectivos requerimientos de energía y seguridad. Aquí se asume que la ubicación respectiva se asegura con un monto adecuado y aceptable.

Ecuación 10

$$C_{site} = C_{building}[\text{area type, ONU size}] + C_{installation}[\text{area type, ONU size}]$$

C_{site} = Total Costo del lugar.

$C_{building}$ = Costos de los trabajos de construcción.

$C_{installation}$ = Costo de la instalación del ONU.

5.2.3 El ONU

Los costos del equipamiento del ONU están constituidos básicamente por los equipos necesarios para la construcción misma. Es decir Racks, shelves, hardware adicional, respaldo de energía, tal como se muestra en la ecuación adjunta.

Ecuación 11

$$C_{ONU} = C_{frame}[\text{ONU size}] + C_{cards}[\text{ONU size}] + C_{power}[\text{ONU size}]$$

C_{ONU} = Total Costo ONU.

C_{frame} = Costos de los Racks y Shelves necesarios para la instalación.

C_{cards} = Costo de las tarjetas de fibra, OAM y unidad de energía.

C_{power} = Costo de equipos para la redundancia de la energía, baterías, etc.

5.2.4 Modems VDSL

Los costos de estos componentes son predefinidos como es de suponer por los fabricantes de estos dispositivos. Aquí se tendrá en cuenta que estos deberán cumplir con la mayor parte de los papers publicados (ANSI, ETSI).

Es aquí donde actualmente se libra una lucha muy intensa entre fabricantes por hacer que su tecnología predomine y quede como antecedente para su estandarización en la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU). El punto aún en desacuerdo es tipo codificación de línea que finalmente se empleará (CAP o DMT). Por ello es recomendable disponer de equipos VDSL capaces de cumplir ambos requisitos.

Ecuación 12

$$C_{\text{VDSL}} = C_{\text{modems}}[\text{number of VDSL subs}] \\ + C_{\text{installation}}[\text{number of VDSL subs}]$$

C_{VDSL} = Total Costo VDSL.

C_{modem} = Costos de tarjetas VDSL para el ONU (LT) y para el subscriptor (NT)

$C_{\text{installation}}$ = Costo de instalación de los nuevos subscriptores.

CONCLUSIONES

- La tecnología *VDSL* permite la transmisión de datos a altas velocidades utilizando una combinación de cables de fibra óptica y la red telefónica de cobre existente. Esta tecnología proporciona un acceso a Internet más rápido, así como la transmisión de video interactivo y mayor velocidad para los servicios de comunicación de datos.
- VDSL es espectralmente compatible con otros servicios XDSL. Esta diseñado para operar en la presencia de todo tipo de problemas en los pares de cobre.
- Es una tecnología flexible y puede ser adoptado para diferentes entornos y escenarios de desarrollo.
- El paquete de transporte sobre VDSL es universal y puede ser usado por cualquier tipo de paquetes, particularmente por Ethernet.

ANEXO A: ABREVIACIONES

AWGN	Additive White Gaussian Noise
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ADSL	Lite Asymmetric Digital Subscriber Line, light version
AN	Access Network
ANSI	American National Standards Institute
CAP	Carrierless Amplitude-Phase Modulation
CATV	Community Antenna Television, Cable TV
DMT	Discrete Multitone
DP	Distribution Point
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	DSL Access Multiplexer
E1	connections European basic multiplex rate of 2.048 Mbit/s
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
FDD	Frequency Division Duplexing
FEXT	Far-End Crosstalk
FP1	Flexibility Point 1, primary crossconnection
FP2	Flexibility Point 2, secondary crossconnection
FTAB	Fiber to A and B, in the access network model
FTABCDE	Fiber to A, B, C, D and E, in the access network model
FTAC	Fiber to A and C, in the access network model

FTF	Fiber to F, in the access network model
FTTB	Fiber to the Building
FTTC	Fiber to the Curb
FTTCab	Fiber to the Cabinet
FTTH	Fiber to the Home
FTTLeX	Fiber to the Local exchange
FTTN	Fiber to the Neighborhood
GSM	Global System for Mobile Communication
HDSL	High bit rate DSL
HDSL2	High bit rate DSL, second upgraded version
HFC	Hybrid Fiber-Coax
IDSL	ISDN Digital Subscriber Line
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	International Telecommunications Union
LAN	Local Area Networks
LE	Local Exchange
LMDS	Local Multipoint Distribution Service
LT	Line Termination
MDF	Main Distribution Frame
MMDS	Multichannel (or Microwave) Multipoint Distribution Service
NEXT	Near-End Crosstalk
NT	Network Termination
OAM	Operations, Administrations and Maintenance
OLT	Optical Line Terminal

ONU	Optical Network Unit
PIC	Plastic Insulated Cables
PNO	Public Network Operators
POTS	Plain Old Telephony Service
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
RFI	Radio Frequency Interference
SNR	Signal to Noise Ratio
TE	Terminal Equipment
U-ADSL	Universal Asymmetric Digital Subscriber Line
UDSL	Universal Digital Subscriber Line
UNIs	User Network Interfaces
VoD	Video on Demand
VDSL	Very high speed Digital Subscriber Line
XDSL	Generic term covering all Digital Subscriber Line technologies

ANEXO B : FIGURAS

Figura 2-1 Esquema básico VDSL	8
Figura 2-2 Topología VDSL	10
Figura 2-3 Terminación de RED	14
Figura 2-4 Estructura Típica VDSL	15
Figura 2-5 Velocidades de la carga útil del ETSI	16
Figura 2-6 Generador y compositor de ruido para las mediciones de campo	19
Figura 2-7 Plan 998	19
Figura 2-8 Plan 997	19
Figura 2-9 Modelo de Capas - VDSL	20
Figura 2-10 Modelo Funcional Single-carrier PMD	21
Figura 2-11 Modelo Funcional Multi-carrier PMD	21
Figura 3-1 Modelo de referencia VDSL definido por ETSI	25
Figura 3-2 Topología de Acceso de Red actual	26
Figura 3-3 Area geográfica de las redes de acceso	27
Figura 3-4 Model de Red de Acceso SÍNTESIS	28
Figura 3-5 Efecto de R en la Longitud del Lazo	32
Figura 3-6 Distribución Uniforme de Subscriptores	33
Figura 3-7 Distribución Uniforme (a) y Real (b) aplicado para 1600 subscriptores	35
Figura 3-8 Áreas cubiertas por nodos de fibra:	36

Figura 3-9 Distribución de las longitudes del lazo de cobre con las diferentes topologías acorde al modelo Uniforme	38
Figura 3-10 Distribución de las longitudes del lazo de cobre con las diferentes topologías acorde al modelo Real	39
Figura 3-11 Capacidad de Transmisión Simétrica VDSL según Ims98a e Ims98b	41
Figura 3-12 Modelo UNIFORME: Al 10% del número de Subscriptores VDSL	42
Figura 3-13 Modelo REAL: Al 10% del número de Subscriptores VDSL	42
Figura 3-14 Modelo UNIFORME - Para disponibilidad de 10Mbit/s :	43
Figura 3-15 Modelo REAL - Para disponibilidad de 10Mbit/s :	44
Figura 4-1 Estructura General de la sección de datos	45
Figura 4-2 Esquema General LRE - VDSL	49
Figura 4-3 Detalle de escenario a implementarse	50
Figura 4-4 Escenario y puntos prueba	51

BIBLIOGRAFÍA

- ANSI T1E1.4, Draft Technical Document, Revision 16, *Very-high-speed digital subscriber lines, system requirements*, September 1, 1999. [ANS98]
- ETSI Technical Specification, TS 101 270-1 V1.1.2, *Transmission and Multiplexing (TM); Access transmission systems on metallic access cables; Very high speed Digital Subscriber Line (VDSL); Part 1: Functional requirements*, Jun. 1998. [ETS98]
- ETSI Technical Specification, TS 101 270-2 V1.1.1, *Transmission and Multiplexing (TM); Access transmission systems on metallic access cables; Very high speed Digital Subscriber Line (VDSL); Part 2: Transceiver specification*, Feb. 2001. [ETS01]
- Janne Helenius, *Characterisation of twisted pair cables for high speed digital subscriber line applications*, Master's Thesis, Tampere University of Technology, 1999. [Hel99]
- L. A. Ims, *et al.*, "Investment costs of broadband capacity upgrade strategies in residential areas," *Proc. 8th International Telecommunication Network Planning Symposium (Networks '98)*, Sorrento, Italy, October 18-23, 1998, pp. 641-646. [Ims98a]
- L. A. Ims, *et al.*, "Costs of upgrading the residential telecommunications infrastructure to broadband," *Proc. IEEE 1998 Global Telecommunications*

- Conference (Globecom '98)*, Sydney, Australia, November 8-12, 1998, pp. 3153-3158. [Ims98b]
- Yaohui Liu, *et al.*, “Capacity estimation of VDSL connections based on channel measurements,” *Proc. of the 1999 Finnish signal processing symposium (FINSIG '99)*, Oulu, Finland, May 31, 1999, pp. 262-266. [Liu99]
 - H. S. Misser, *et al.*, “Telecommunications planning in uncertainty,” *Proc .8th International Telecommunication Network Planning Symposium (Networks '98)*, Sorrento, Italy, October 18-23, 1998, pp. 29-34. [Mis98]
 - VDSL Alliance, “VDSL Alliance DMT VDSL Draft Standard Proposal,” ETSI TM-6, TD-28, Madrid, Jan. 26-30, 1998. [VDS98a]
 - VDSL Coalition, “VDSL Coalition Technical Draft Specification,” ETSI TM-6, TD-23, Antwerp, Belgium, April 20-24, 1998. [VDS98b]
 - I. Welling *et al.*, “Geometric models,” *Broadband access networks: introduction strategies and techno-economic evaluation*, edited by L. A. Ims, London, UK, Chapman & Hall, 1998, pp. 63-73. [Wel98]
 - Cisco 575 LRE CPE Hardware Installation Guide
<http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/lre/lrecpe/index.htm>
 - Installation Notes for the Cisco LRE 48 POTS Splitter
<http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/lre/ps/1255003.htm>
 - Release Notes for the Catalyst 2900 Series XL and Catalyst 3500 Series XL Switches, Cisco IOS Release 12.0(5)WC2
http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/lan/c2900xl/29_35wc2/1331203.htm