

Guatemala, 16 de Marzo de 2007

Señor  
Benjamín Alvarado Corado  
Presente

Estimado señor Alvarado:

Tengo mucho gusto en informarle que ha sido aprobado su punto de Tesis, previo a optar al diploma de **Ingeniero en Electrónica, Informática y Ciencias de la Computación** cuyo título es "PRINCIPIOS BASICOS PARA LA IMPLEMENTACION DE VDSL".

Al mismo tiempo le informo que ha sido aprobada la designación del **Ingeniero Juan David Alvarado**, como asesor de su trabajo de graduación.

Atentamente,

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS,  
INFORMATICA Y CIENCIAS DE LA COMPUTACION

  
Ing. José Eduardo Suger Castillo  
Decano Fisicc  
Universidad Galileo



Ing. José Eduardo Suger  
Decano FISICC

vl.

Guatemala, 16 de Marzo de 2007

Ingeniero  
Juan David Alvarado  
Presente

Estimado Ingeniero Alvarado:

Tengo mucho gusto en informarle que ha sido aprobada su designación como asesor del trabajo de Tesis del alumno Benjamín Alvarado Corado, previo a optar al diploma de **Ingeniero en Electrónica, Informática y Ciencias de la Computación**, cuyo título es **“PRINCIPIOS BASICOS PARA LA IMPLEMENTACION DE VDSL ”**.

Para su información adjunto a la presente, fotocopia de la solicitud y respuesta del señor Alvarado.

Atentamente,

FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS,  
INFORMATICA Y CIENCIAS DE LA COMPUTACION

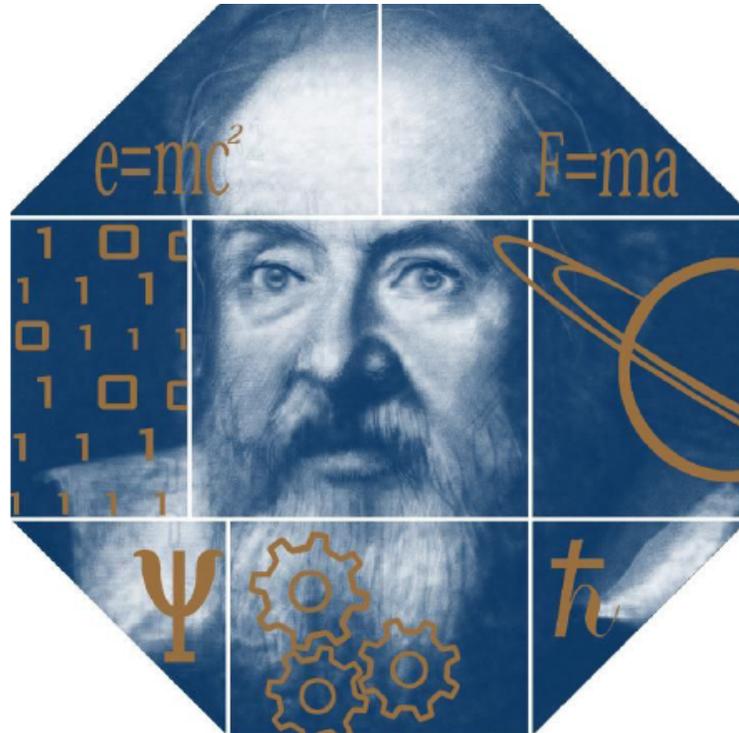
  
Ing. José Eduardo Suger Castillo  
Decano Fisicc  
Universidad Galileo



Ing. José Eduardo Suger  
Decano FISICC

vi.

**BENJAMÍN ALVARADO CORADO**  
**PRINCIPIOS BÁSICOS PARA LA**  
**IMPLEMENTACIÓN DE VDSL**



**UNIVERSIDAD GALILEO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS,  
INFORMÁTICA Y CIENCIAS  
DE LA COMPUTACIÓN**

**GUATEMALA, 2007**

El presente trabajo de tesis fue elaborado por el autor como requisito para obtener el título de INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN en el grado académico de Licenciado.

Guatemala, noviembre de 2007

## DEDICATORIA

- A Dios:* Por cada respiración que me permite, por su perdón.
- A mi Buena Madre:* Por ser mi Recurso Ordinario.
- A mis padres:* Por su infinito sacrificio.
- A mis abuelos:* Guillermo (Q.P.D) y Oneida
- A mis amigos:* A.Galindo, JuanMa, Vic, Peyo, Oskar, por su ayuda. En especial a JT.
- A mis compañeros:* CONSUL IBM Support, por su amistad.
- A mis sobrinas:* Stephanie y Sofía, por ser lo mejor del mundo.

# ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pagina
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2
CAPÍTULO I	
1. HISTORIA DE DSL.....	10
1.1 Entorno tecnológico de DSL.....	10
1.2 Evolución de DSL a VDSL.....	13
CAPÍTULO II	
2. VDSL: CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	16
2.1 Funcionamiento.....	18
2.2 Problemas en las instalaciones de VDSL.....	23
2.2.1 Derivaciones de planta externa.....	23
2.2.2 Técnicas de Reflectometría para ubicar líneas paralelas..	23
2.2.3 Técnica de barrido en frecuencias.....	28
2.3 Tipos de VDSL.....	32
2.4 Comparación de VDSL con ADSL.....	33
2.4.1 Descripción.....	33
2.4.2 Estándares ADSL y ADSL2.....	35
2.4.3 Comparación de servicios soportados para VDSL y ADSL.....	23
CAPÍTULO III	
3. ATM.....	37
3.1 Descripción de ATM.....	37
3.2 Capas del protocolo ATM.....	38
3.3 Beneficios.....	41
3.4 Desventajas.....	43
3.5 Características de ATM.....	43
3.5.1 Capacidad.....	45
3.5.2 Técnicas de habilitación.....	46
3.5.3 Sincronización.....	48
3.5.4 Ecuación de la potencia óptica.....	49
3.5.5 Técnica de Clasificación sin interrupción.....	50
3.5.6 Mecanismo de acceso.....	51
3.6 Backbone MPLS.....	55
3.6.1 Características.....	55
3.6.2 Operación.....	59
3.6.3 Aplicaciones.....	60

3.6.4 Ingeniería de tráfico.....	61
3.6.5 Clases de Servicio (CoS).....	62
3.6.6 Redes privadas virtuales (VPN).....	66
CAPÍTULO IV	
4. PRINCIPIOS ECONÓMICOS PARA DESARROLLAR EL COSTO DE OPORTUNIDAD, EN LA IMPLEMENTACIÓN PARA LA RED METROPOLITANA EN GUATEMALA.....	55
4.1 Definición de costo de oportunidad.....	54
4.2 Ejemplos.....	56
4.3 La oportunidad para VDSL comercial.....	59
CAPÍTULO V	
5. EL FUTURO DE VDSL.....	64
5.1 Descripción.....	64
5.2 Proyecciones de FTTH.....	65
CAPÍTULO VI	
6. MÉTODOS DE MODULACIÓN PARA VDSL.....	68
6.1 Descripción de modulación.....	68
6.2 Algoritmos de compresión de voz.....	69
6.3 Modulación multi-portadora.....	72
6.4 Características de MCM.....	72
6.5 DMT.....	78
6.5.1 Descripción.....	78
6.5.2 Modulación QAM para sub-canales.....	79
6.6 Control de errores.....	87
6.6.1 Reed-Solomon.....	87
CAPÍTULO VII	
7. ESTUDIOS ECONÓMICOS PARA VDSL.....	90
7.1 Reglamentación de la SIT.....	92
7.2 Modelo de Optimización de redes.....	93
7.2.1 Ejemplo de árboles de expansión.....	94
7.2.2 Método simplex de redes.....	98
7.2.2.1 Detalles.....	98
7.2.2.2 Terminología de redes.....	99
7.3 Dinámica de un sistema como un proceso de realización de su Potencial.....	100
7.3.1 Generalidades.....	101
7.3.2 Análisis de la solución de las ecuaciones evolutivas...	102
7.3.3 Clasificación de los sistemas según sus propiedades de evolución.....	103
CONCLUSIONES.....	107
RECOMENDACIONES.....	109

BIBLIOGRAFÍA.....	110
ANEXO I.....	111

## INTRODUCCIÓN

Ante la inminente masificación de los nuevos servicios de banda ancha como VOD (video en demanda), DVB (difusión de video digital), y otros más, es necesario establecer un nuevo estándar que pueda ser capaz de soportar todos estos servicios de nueva generación. Es por esto que el estudio de VDSL ha sido de interés como nuevo estándar que puede proveer hasta 52Mbps al usar la misma infraestructura cableada telefónica, lo que hace que su implementación no sea excesivamente cara. De tal forma, la tarifa para los usuarios no sea exageradamente alta, razón por la cual este estándar de la familia xDSL adquiere tanta importancia a nivel mundial, dado que compañías telefónicas internacionales como TELEFONICA, actualmente provee estos servicios de banda ancha al usar VDSL, a tarifas que no variaron mucho de ADSL con sólo 8Mbps. Entonces antes de que se entre a la era de fibra óptica cableada hasta el hogar, VDSL puede ser la solución por el momento, antes de este inminente salto en la infraestructura tanto telefónica como de datos y video. Además se han realizado estudios económicos para predecir una oportunidad de implementación en el ámbito económico guatemalteco, al desarrollar el método símplex en su representación de red, para facilitar su diseño, y de esta forma minimizar costos de cableado.

Luego se desea representar la oportunidad comercial de VDSL por medio de un método dinámico de desarrollo de potencial, cuya función es predecir el comportamiento económico de VDSL dadas las condiciones del entorno económico en el cual se desarrollara. Este entorno estará definido según las estadísticas de la SIT (Superintendencia de Telecomunicaciones), que es la fuente de investigación según la cual estarán regulados estos estudios.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Enfocar la atención hacia esta nueva tecnología, VDSL, la cual promete ser el sustituto ideal e implementado a ADSL, estándar de la familia xDSL que gobierna actualmente mundialmente, pero que ahora dada la masificación y la popularización de servicios que requieren banda ancha, para su transmisión y su uso.

### **Objetivos Específicos**

1. Establecer una comparación tecnológica con ADSL, para comprender cuales han sido las implementaciones y por lo que es útil el uso y la implementación de VDSL.
2. Establecer un estudio detallado de las tecnologías de acceso y multiplexación estandarizadas para esta tecnología, así conlleva un estudio a la modulación multiportadora y portadora simple, entendiendo así por qué es este el estándar que utiliza VDSL.
3. Hacer un estudio comparativo y de propuesta, como una propuesta económica para Guatemala, al establecer así un costo de oportunidad para la implementación física y electrónica de esta tecnología.

## CAPÍTULO I

### 1. HISTORIA DE DSL

#### 1.1 Entorno tecnológico de DSL

Siempre que se comienza a comentar sobre los principios de DSL y casi de todas las tecnologías de banda ancha actuales, se coincide en que en sus inicios se buscaba optimizar la capacidad de las líneas de cobre existentes e instaladas. De esta manera, Joseph Lechleider, de la compañía Bellcore, a través de análisis matemático, demostró la capacidad de enviar señales de banda ancha, por lo cual se le considera el padre de estas tecnologías. Él sugirió que la potencia que se alcanzaba asimétricamente (como en ADSL), podría beneficiar mejores transmisiones posibles en una dirección. Luego, estos esfuerzos dieron pie a la creación de ISDN y después los dos reemplazos para las líneas de T-1 que se llamaron HDSL. ISDN nunca fue aceptado e introducido eficientemente en el mercado americano, caso contrario en Europa donde aún existen algunas conexiones de ISDN. HDSL fue muy exitoso y usado aun para muchos T-1 instalados hoy en día. En los comienzos de 1990, muchos investigaron una manera de proveer banda ancha a mayor número de usuarios, por lo que John Cioffi, de la Universidad de Stanford, desarrolló DMT, el ahora estándar para las conexiones DSL. Así, con un grupo de trabajo implementó un equipo que en 1993 tuvo los mejores resultados y que así se estandarizó. De esta manera la tecnología estaba disponible para alcanzar el sueño de VOD, una idea que tenía mucha esperanza para el futuro. Al mismo tiempo, las compañías de cable prometían la posibilidad de 500 canales y VOD pudiera competir con eso, idea que nunca pudo realizarse enteramente en sus deseos primarios. En cuanto la idea de VOD se desvanecía, DSL emergió muy diferente de como se esperaba al principio. Los usuarios de computadoras personales necesitarían acceso de alta velocidad para Internet,

especialmente en el área corporativa, pero considerando el rápido paso de los negocios, y la cantidad de sistemas de computación en red, DSL parecía la solución indicada. Aunque es importante mencionar que en Guatemala se trata de utilizar más E1, dado que es el país un territorio del instituto de estandarización de telecomunicaciones europeo ETSI (European Telecommunications Standards Institute), a pesar de que la referencia es el instituto americano de estandarización ANSI (American National Standards Institute).

DSL sería presentado como una oportunidad para las telecomunicaciones para cumplir con la demanda de los clientes de tener rápido acceso a la data por Internet. Dado el hecho de la reforma a las telecomunicaciones en Estados Unidos por 1996, que permitía a las compañías locales de telefonía, los carriers de larga distancia, las compañías de cable, los difusores de radio y T.V., los ISP, y los desarrolladores de equipo para telecomunicaciones a competir en el mercado, hacia que la investigación para el desarrollo y la estandarización de DSL. Atinadamente, DSL es una estandarización importante en Guatemala, ya que se ha desarrollado una inversión fuerte en cableado de cobre para las aplicaciones remotas, lo que hace la opción DSL mas fuerte que la de nuevas tecnologías basadas en fibra óptica o en wireless.

Es importante resaltar el hecho que DSL tuvo expansión de estándares con distintas características, así que xDSL ha sido el término común para toda la familia DSL, con variaciones como ADSL, RADSL y VDSL.

Así como la tecnología avanza con el uso de DSL, con gran paso, es importante mencionar que algunas fallas no son ajenas a esta tecnología, mencionando por ejemplo la indisponibilidad en ciertas áreas, lo cual lo

hacía poco popular, y se necesitaba una masificación para esta tecnología, lo cual eventualmente sucedió mediante la expansión de DSL. También se menciona que debido a los avances tecnológicos que ayudan a que DSL se masifique a un gran paso, para que la demanda sea como se ha conocido en una firma analista llamada Point Topic, resultando que cerca de 8 millones de suscriptores respaldan la llamada masificación de la banda ancha al final del 2001. Así ahora muchas aplicaciones, como se tratarán luego, se basan en el conocimiento en línea, sin mencionar las innumerables aplicaciones para entretenimiento. Dado que DSL fue creado como una especificación parte de ISDN, se menciona que DSL opera tanto en una línea BRI ISDN, como en línea análoga telefónica. Luego del desarrollo de ADSL por Joe Leishleider, de BELLCORE (ahora Telcordia Technologies), en 1988, al lograr que la señal de voz fuera llevada de la central telefónica hacia los usuarios con cableado de cobre convencional, llevó así a que existiera una competencia entre las compañías de telefonía con cable módems.

## **1.2 Evolución de DSL a VDSL**

Desde la creación de ADSL en 1988, DSL alcanzó su meta principal de proveer accesos de alta velocidad a los usuarios de hogar y trabajo, la evolución era inevitable hasta el término común xDSL para la familia DSL, con variaciones de ADSL, RADSL y el tema que concierne este trabajo. Es importante saber que ADSL provee para descarga, alta velocidad, a costo de no tenerla para cargar datos del usuario al proveedor. Por lo cual ADSL toma ventaja del patrón identificado de los usuarios de Internet, que es la tendencia a descargar mucho más frecuentemente de lo que se carga datos a la red.

Luego, se creó el estándar RADSL, que es una tecnología ADSL que usa un software para determinar la tasa a la cual las señales pueden ser

transmitidas en una línea telefónica del usuario y ajustar correctamente la tasa del proveedor.

La primera tecnología de DSL que se puede mencionar es BRI ISDN de 144Kbps, usado en 1986, y luego se aplicó en modo de paquetes el IDSL (ISDN DSL), y lo que podía proveer el transporte de múltiples llamadas por un simple par de cobre, en una DAML. Esta tecnología utilizó la tecnología de voz V.34, y la tecnología de transmisión para E1/T1. Luego del mencionado HDSL que se introdujo en 1992 con una tasa de transmisión de 1.5Mbps al usar dos pares de cobre, con transmisión simétrica, HDSL redujo el costo y la instalación requerida para proveer servicio y simplificar la ingeniería para la implementación de estas tecnologías. Luego, en el 2000 HDSL2, fue implementado para proveer la misma tasa de transmisión de HDSL pero con un solo par de cobre, al operar sobre CSA, que es un estándar para la longitud de las líneas de 3.6Km con cable 24 AWG. Luego HDSL4 se implementó con TC-PAM para dos pares de cobre, al permitir así el transporte de 1.5Mbps en distancias más largas. ADSL se introdujo en 1995 con la nueva tecnología de modulación DMT, lo cual permite la velocidad de descarga de hasta 8Mbps, aunque mayormente proveído a velocidades de 2Mbps. Asimismo, permitió que al final de 2002 existieran 26 millones de suscriptores alrededor del mundo, lo que era 80% de las líneas residenciales y 20% de las líneas comerciales. Luego, SHDSL desarrolló sus productos al final de 2000 que soportó transmisión simétrica de 192Kbps a 2.32Mbps, al permitir mucho más alcance que SDSL y también funcionando con la modulación TC-PAM, hasta llegar a VDSL, que fue introducido como estándar en el 2000 y proveyó tasas de transmisión de hasta 52Mbps.

## CAPÍTULO II

### 2. VDSL: CARACTERÍSTICAS GENERALES

En inglés es Very High data rate Digital subscriber line. Representa el último estándar tecnológico para la familia xDSL, al implementar la tecnología anterior ADSL, en muchos aspectos como ancho de banda, simetría y capacidad de proveer los servicios avanzados de última generación, los cuales incluyen data, video y voz. De tal manera que lo que se requiere es evitar tener tres compañías que provean tres servicios diferentes. De esta manera la telefonía, con sus mayores exponentes en el consorcio FSAN, el cual está compuesto de 16 de las mayores compañías telefónicas a nivel mundial, han estudiado la posibilidad de volver obsoleto el cable MODEM proveído por las compañías de cable, de esta manera ofrece mayores ventajas tanto tecnológicas como de entretenimiento, educación, negocios, etc.

El punto clave tecnológico y de diseño de VDSL es aumentar el espectro de frecuencias al generar un ancho de banda de hasta 52 Mbps, (mas de 5 veces ADSL), lo cual supone que la integración de servicios de banda ancha pueden ser distribuidos por una red VDSL, sin problema alguno. De esta forma, como se había mencionado anteriormente, VDSL es la tecnología suficiente para proveer servicios antes de FTTH. Se espera que en un futuro no distante, sea el que esté instalado en la mayoría de redes metropolitanas, hecho que no ha sucedido aun por costos de instalación, y por falta de popularización de la mayoría de servicios, así como de proveedores de estos servicios, los cuales por mencionar un ejemplo, servidores de video como YouTube, Video Google, Ifilm, Metacafe y otros proveen VOD, al expandir y popularizar la demanda de estos nuevos servicios.

Luego del mencionado consorcio FSAN (full service access network), se ha estado estudiando la posibilidad de una tecnología que pueda proveer el servicio completo para banda ancha, tanto para hacer investigación implementación, como en estandarización de tecnologías. Se pueden mencionar algunos proveedores de VDSL actuales como Ericsson, Alcatel-Lucent, QWest, AT&T, Telefónica en España y otros a nivel mundial como Brendbandsbolaget de Dinamarca, proveedor en los países nórdicos, y muchos más a nivel mundial.

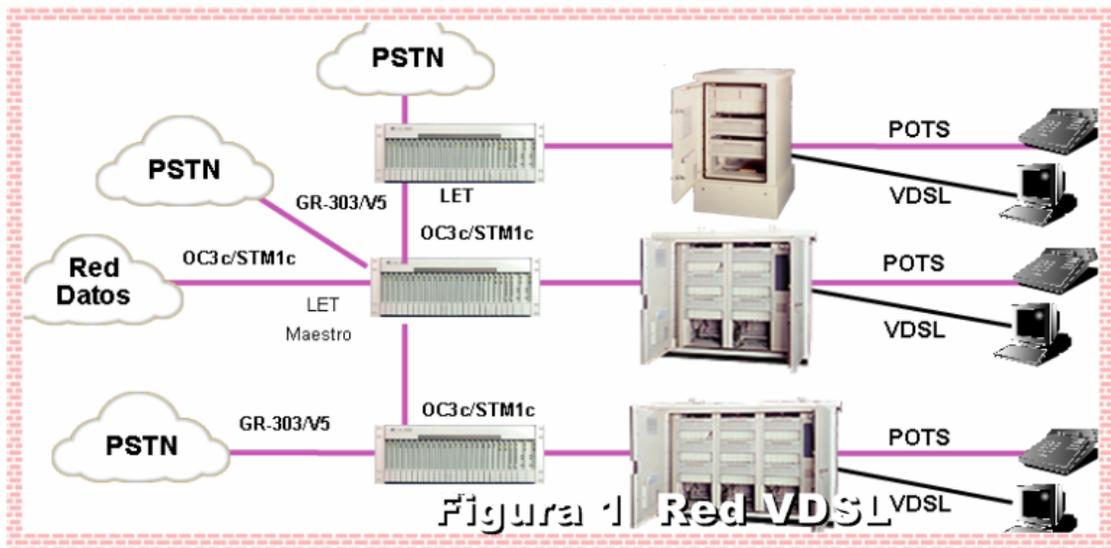
## **2.1 Funcionamiento**

Una instalación telefónica consiste de un par de cables de cobre que la compañía telefónica instala en el hogar. Estos cables tienen suficiente ancho de banda para transportar data en adición de conversaciones de voz, pero dado que las conversaciones de voz consumen sólo una pequeña porción de la capacidad disponible de los cables, entonces VDSL explota esta capacidad restante para transportar información, sin deshabilitar la capacidad de transportar las conversaciones. Los servicios estándar limitan las frecuencias que los switches, los teléfonos y otros equipos pueden transportar. Como se mencionó, la voz humana puede ser transportada en un ancho de banda de 4Khz, y dado que los cables pueden transportar frecuencias de varios MHz, los equipos modernos que envían señales digitales, pueden usar mucho más que la capacidad de la línea telefónica. Entonces, este es el punto clave de VDSL, que utiliza dos piezas de equipamiento, una del lado del usuario, otra del proveedor.

Del lado del usuario es el Transceiver, mientras que del proveedor, es el DSLAM que es el multiplexor de acceso de DSL (DSL access multiplexer), el cual recibe las conexiones del usuario. Entonces, del lado del proveedor de Internet (ISP Internet service provider) se tiene el VTU-R, que es la unidad de Transceiver de VDSL remoto, es decir del lado del proveedor, y es

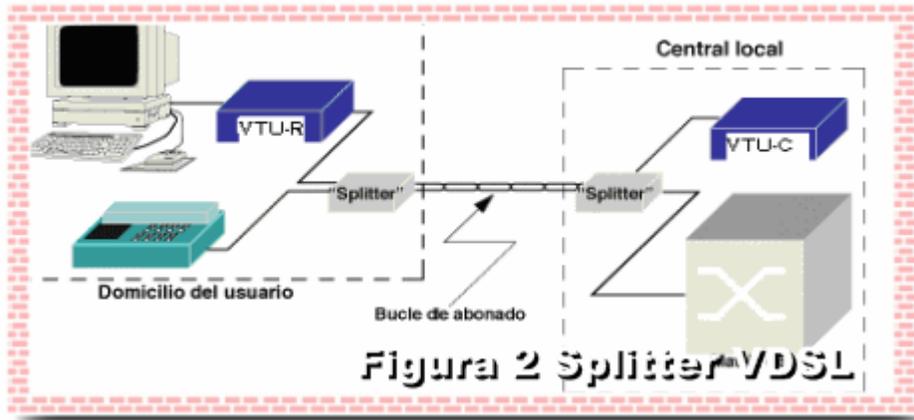
el punto donde la data de la computadora o de la red del usuario se conecta a la línea DSL. Este transceiver se puede conectar de muchas formas al equipo del usuario, ya sea por USB (Universal Serial Bus) o por cable UTP 10BaseT que es un cable capaz de transportar banda base digital en par trenzado, para Ethernet. Los transceivers vendidos por los ISPs y por las compañías telefónicas son sólo transceivers, pero los dispositivos usados por empresas y negocios, pueden combinar routers, switches y otros componentes de red, instalados en la misma caja donde está el transceiver. En la figura 1 se debe conocer las LET, que son las conexiones hacia las redes públicas de telefonía, PSTN. Además, los LET son conexiones hacia los ruteadores Gateway para el Internet, y el RST que es el gabinete de esquina final.

En esta figura se muestra la aplicación de acceso a Internet:

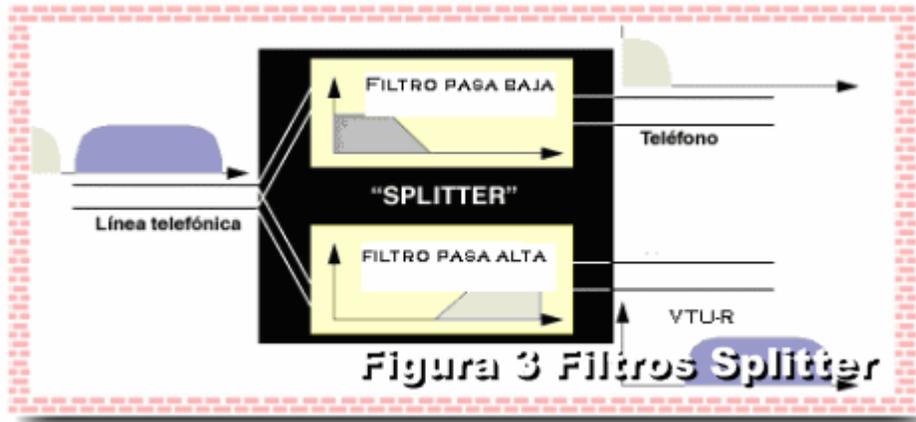


El DSLAM que provee el acceso, es el equipo que realmente permite que VDSL funcione, ya que toma conexiones de varios usuarios, y la agrega a una sola conexión de alta capacidad para la Internet. Los DSLAM son generalmente flexibles y capaces de soportar muchos tipos de DSL, así como proveer funciones adicionales como ruteo y asignación de direcciones de IP dinámicas para los usuarios.

En la siguiente figura se muestra cómo funciona un enlace VDSL.



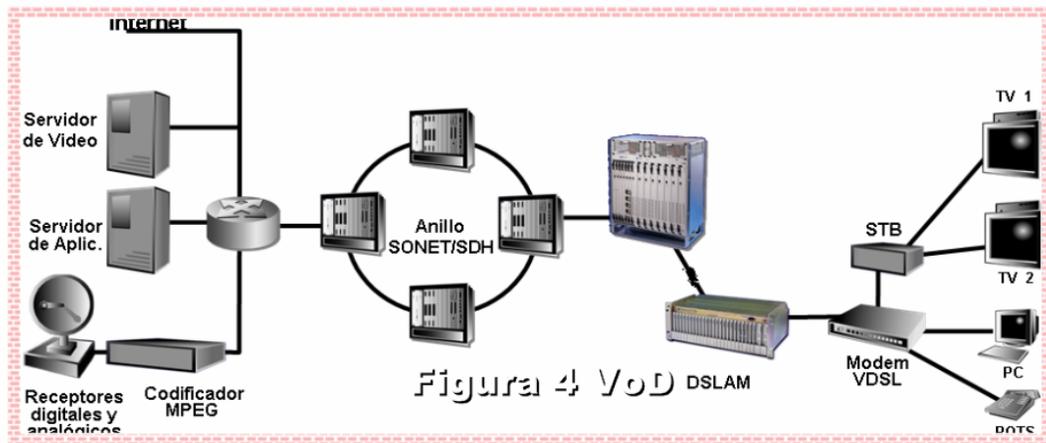
En esta figura se muestra el funcionamiento del Splitter VDSL.



VDSL es una tecnología que es sensible a la distancia, dado que así como la distancia de la conexión aumenta, la calidad de la señal y la velocidad de la conexión decrecen. VDSL funciona a una distancia máxima de 1.5 Km, dado el hecho que a mayor frecuencia, mayor atenuación debido a interferencias. Esta distancia es entre el transceiver o MODEM del usuario al DSLAM, y por razones de desempeño y calidad de servicio (QoS quality of service), los proveedores de VDSL deben disminuir esta distancia, ya que a

este extremo de distancia máxima, los usuarios de VDSL pueden experimentar velocidades mucho menores de las prometidas. Mientras más cerca estén del VTU-C, que es la unidad transceiver de VDSL de la oficina central (VDSL transceiver unit central office), pueden los usuarios experimentar velocidades cercanas al máximo, y aun mayores al límite actual. En parte de la distancia supone cableado AWG 22 diferente a lo que se menciona con AWG 26 y AWG 24, que suponen en testloops de algunos estándares, dado que VDSL no soportaría este cableado a una distancia de 1.5 Kms. al usuario.

En esta gráfica se puede observar el mecanismo de acceso a servicios de red como VoD:



La razón de atenuación a la distancia para VDSL se debe a unos pequeños amplificadores llamados COILS que las compañías telefónicas utilizan para elevar las señales de voz. Estos COILS de carga son incompatibles con las señales de VDSL debido a que el amplificador deteriora la integridad de la data. Esto significa que si hay un COIL de voz en la conexión entre el teléfono, y el teléfono del VTU-C, entonces no se puede recibir servicio VDSL. Además, se pueden mencionar otros problemas y sus soluciones:

## 2.2 Problemas en las instalaciones de VDSL.

### 2.2.1 Las derivaciones en la planta externa:

Estas son líneas en paralelo o *bridge taps* y los cableados internos que pueden también causar algunos dolores de cabeza. Una derivación es un segmento de cable conectado en paralelo a la línea principal, que degrada la respuesta en frecuencia del cable debido a la pérdida de inserción del cable, especialmente para las señales de alta frecuencia. Estas derivaciones pudieron haber sido creadas durante el diseño, construcción o mantenimiento de la misma, y que también pueden ser cables de crosconexión (cruzadas) olvidados, alguna vez instalados con propósitos de prueba, o simplemente adiciones o traslados de nuevas extensiones telefónicas dentro de la edificación. Estas derivaciones causan un efecto de filtro de rechazo que produce la cancelación de ciertas frecuencias, el cual es más notorio cuando la derivación no está debidamente terminada en el extremo. Este efecto es más notorio en la frecuencia central o de resonancia, aunque afecta un rango más amplio de frecuencias adyacentes. Una línea de esta longitud es apenas comparable con un cable telefónico normal. Derivaciones como ésta pueden no afectar las señales ADSL, en cuanto el efecto producido está fuera de su banda de frecuencias, pero significarían un serio problema para VDSL. La longitud de las líneas derivadas juega un papel crítico, en cuanto esta define el rango de frecuencias afectadas. Las líneas más cortas afectan frecuencias más altas y las más largas a las frecuencias menores. Una línea paralela tiene múltiples efectos, no solamente alrededor de la frecuencia de resonancia principal, sino que en todas sus armónicas impares.

En el pasado, las líneas paralelas no fueron catalogadas como gran problema y algunas veces consideradas como necesarias. Mientras la planta externa transportaba señales de voz a bajas frecuencias (máximo 4 kHz),

aun las líneas paralelas muy largas no mostraban algún efecto sensible. Con la introducción de los servicios como T1, E1 y HDSL, sobre el par trenzado, la planta externa empezó a mostrar efectos de algunas líneas paralelas. Luego de la introducción de los servicios de banda ancha, como ADSL, ADSL2 y ADSL2+, con anchos de banda de 1,1 y 2,2 MHz, el efecto de la línea paralela ha tenido un protagonismo mucho mayor debido a las altas frecuencias, mayor pérdida de inserción e interferencias de RF. Las líneas paralelas de menor longitud, anteriormente consideradas inofensivas, llegan a afectar estas señales. Si los enlaces ADSL son afectados por líneas paralelas cortas, ubicadas principalmente en la planta externa, los enlaces VDSL, con un mayor ancho de banda de 12 o 17 MHz, serán afectados por líneas paralelas aun más cortas. Tan cortas, que una simple derivación telefónica o cable telefónico podría causar problemas.

### **2.2.2 Técnicas de Reflectometría para ubicar líneas paralelas:**

Debido al corto alcance de VDSL, lo más común es que la planta externa para este tipo de servicios sea fibra óptica hasta muy cerca del abonado, FTTB/C/N. Por lo tanto, es necesario diagnosticar los cables metálicos en áreas relativamente pequeñas como las redes internas en edificios de oficinas, condominios, complejos habitacionales, vecindarios, hoteles, clínicas y hospitales, etc. No es necesario utilizar reflectómetros (TDR) especiales para VDSL, pero sí se precisa de técnicas algo diferentes en conjunto con la experiencia adecuada. Las líneas paralelas son usualmente representadas como ramales relativamente cortos en la planta externa. El TDR es muy útil, probablemente suficiente, para ADSL y otros servicios con anchos de banda relativamente bajos. Sin embargo, los cableados internos de una casa/apartamento, oficinas en los hogares o pequeños negocios, suelen parecerse a un árbol con múltiples ramas relativamente cortas. El análisis con TDR desde muy lejos puede no mostrar

suficientes detalles, ya que se utilizan pulsos anchos para alcanzar el otro extremo. El ancho de estos pulsos podría llegar a ser comparable con la longitud de la derivación, al ser demasiado anchos para identificar o diferenciar líneas paralelas pequeñas. Un análisis más detallado del cableado interno requerirá de pulsos más cortos, lanzados desde un punto más cercano. Esta técnica puede mostrar un cable con múltiples terminaciones, donde cada una representaría una derivación telefónica.

Hay que tener en cuenta que los residentes actuales de la casa posiblemente desconozcan la existencia de derivaciones instaladas anteriormente, que talvez no hayan sido removidas correctamente, y generado un posible problema que el técnico instalador deberá identificar. En la mayoría de los casos habrá fibra para la larga distancia y cobre para la distribución local; por lo tanto, la prueba del cobre sería hecha desde un sitio remoto, cercano al cliente (no desde la central). En algunos casos, dependiendo de la ubicación y longitud de las líneas derivadas, sería virtualmente imposible identificar los eventos con las técnicas del TDR. En esos casos, la caracterización de la respuesta en frecuencia del cable, mediante la prueba de pérdida de inserción (atenuación vs. frecuencia) es la técnica más recomendable. Las compañías telefónicas han preferido las mediciones hechas en un solo extremo de la línea, con el fin de no tener que enviar un técnico al otro extremo de la línea; en la mayoría de los casos comprometiendo la precisión y resolución de las pruebas. En el caso de VDSL, será necesario enviar un técnico al extremo lejano, o muy cerca del abonado, para lanzar pulsos más cortos con el TDR, de modo que se puedan identificar correctamente los eventos en el cable. Ahora, si ya se ha enviado un técnico cerca del abonado, por qué no hacer pruebas más precisas y detalladas en los dos extremos.

### 2.2.3 Técnica de barrido en frecuencias:

El barrido de frecuencias es una técnica punto a punto (dos extremos) usada para identificar las características dinámicas del par de cobre. El resultado es la gráfica de pérdida de inserción, que muestra la atenuación respecto de la frecuencia, o respuesta en frecuencia del cable. Esta prueba requiere dos elementos sincronizados que trabajen juntos: un generador de señales en un extremo y un medidor de nivel en el otro. El rango de frecuencias usado debe ser igual o mayor al utilizado por el sistema de transmisión que operaría en esa línea (>1.1 MHz para ADSL, > 2.2 MHz para ADSL2+, >12 MHz para VDSL de 4 bandas). La pérdida de inserción muestra el comportamiento del cable, incluyendo los efectos de cualquier línea derivada, que pueden no ser visibles con un TDR. Algunos instrumentos son capaces de calcular la longitud de las líneas paralelas identificadas, basados en su efecto característico. Al conocer que hay una derivación en la línea, y su longitud precisa, el técnico puede seleccionar el ancho de pulso adecuado en su TDR para ubicarla.

Una vez identificada y ubicada la línea paralela, hay dos opciones:

1. *Usar un terminador de línea en el extremo:* Al estar debidamente terminada, con la impedancia de la línea, se eliminarían las reflexiones y el efecto de rechazo de frecuencias. Sin embargo, la terminación disipará parte de la energía y esto introducirá una pérdida constante a todas las frecuencias. Las altas frecuencias utilizadas por VDSL sufren ya de gran atenuación, por lo tanto esta atenuación adicional no sería la mejor opción.
2. *Remover la línea derivada:* Es lo que definitivamente eliminaría el problema, pero se requiere de algunos recursos extras para realizar esta tarea. Para evitar los problemas potenciales del cableado interior, siempre ha sido una buena idea separar las señales DSL de la señal de telefonía básica en el punto de demarcación o interfaz de red NID, mediante la utilización de un *splitter*. La señal telefónica resultante sería conectada hacia el cableado interior y un par dedicado se instalaría para conectar el módem

DSL. Esta es la solución más recomendable, pero puede no ser tan simple para la autoinstalación, que tanto se promueve en estos días.

Aunque las líneas derivadas puede ser uno de los problemas más severos para líneas VDSL, no son los únicos. Frecuencias más altas implican mayor atenuación y más diafonía; dando como resultado una menor relación, señal a ruido. Las fuentes de ruido externas, como señales de RF, no deben ser ignoradas, especialmente cuando se usan acometidas aéreas. Los teléfonos inalámbricos, los radioaficionados, y una variedad de generadores de RF comparten el espectro con VDSL. Aunque estos perturbadores son más difíciles de controlar, siempre es una ventaja identificar su presencia, severidad y posible origen, con el fin de mejorar el servicio y asegurar su estabilidad. Dependiendo de la característica espectral de la interferencia, puede ser necesario sugerir diferentes tecnologías alternativas de acceso (SHDSL, ADSL, ADSL2+). En algunos casos, reemplazar los ruidosos módems de HDSL (con codificación de línea digital 2B1Q) por nuevos módems SHDSL, puede reducir drásticamente el problema de las emisiones (diafonía). El primer instrumento de mano para nivel físico de cobre DSL, con capacidad de análisis espectral de potencia PSD, fue introducido en 1997 por Sunrise Telecom. Actualmente, muchos probadores DSL ofrecen este análisis hasta 2 MHz; sin embargo, para VDSL se requiere instrumentos con ancho de banda de 17MHz, o más, conforme VDSL avanza en su evolución global.

### **2.3 Tipos de VDSL**

Como se había mencionado, VDSL puede ser tanto simétrico como asimétrico. Existen casos donde según sean las aplicaciones necesarias para el usuario, así será el servicio necesario, por ejemplo en servicios de HDTV que requiere de 18Mbps para descarga de contenido de video. Para

carga de datos sólo requiere pocos Kbps para señalización, que se entiende como cambiar canales, o elegir canales, eso necesita de poco ancho de banda. Las tasas de transferencia son sub-múltiplos de SONET y SDH en su velocidad canónica de 155.52Mbps, que usan velocidades de 51.84Mbps, 52.92Mbps o 12.96Mbps, sea la cantidad de distancia a la que se esté ofreciendo el servicio.

Como se mencionó, para pequeñas empresas o negocios, que requieren alto ancho de banda para establecer conexiones en tiempo real con un cliente, es necesario tener velocidad alta de carga de datos. VDSL ha sido diseñado para proveer alta velocidad de carga de datos por VDSL simétrico con tasas de data de 6.48Mbps hasta 25.92Mbps, lo que permite ver que VDSL provee tasas de data de rangos de T1 (1.536Mbps) a T3(44.376Mbps) a un precio accesible para un usuario de hogar que al recibir un T3, sería excesivamente caro.

## **2.4 Comparación de ADSL con VDSL**

### **2.4.1 Descripción:**

Como se ha mencionado, ADSL no provee el ancho de banda necesario para las nuevas aplicaciones que se han implementado, dado el hecho que su velocidad de descarga, aunque es mucho mayor que la de carga de datos, aun no es suficiente para los requerimientos necesarios para tener una conexión deseable y suficiente en función de tener el volumen de flujo de datos óptimo.

Ahora, entrando en detalles, la característica distintiva de ADSL sobre otras formas de la familia xDSL, es que el volumen del flujo de datos es mayor en una dirección (descarga) que en la otra dirección (carga), es por

eso el término de asimétrico. Existen razones técnicas y de mercadeo por la cual ADSL es, ahora, el estándar más ofrecido para los usuarios de hogares, respecto de la parte técnica, puede haber más diafonía (crosstalk) de otros circuitos al DSLAM, que en los dispositivos del usuario, de esta manera la señal de carga es muy débil a la parte mas ruidosa del circuito local. Mientras que la señal de descarga es la más fuerte a la parte más ruidosa del circuito local. Es decir, la instalación cableada del proveedor, hace que haya mayor sentido a que en el DSLAM transmita a mayor tasa de bits, que como lo hace el MODEM en el lado del usuario, dado que el usuario normalmente prefiere mayor ancho de banda de descarga.

Aunque en funcionamiento son relativamente similares ADSL con VDSL, debido a que ambas tecnologías utilizan DMT como método de modulación, es importante resaltar el hecho que una implementación de ADSL es ADSL2. Esta provee hasta 28Mbps de descarga y 3.5Mbps de carga de datos, tecnología que funciona con frecuencias mayores, que en ADSL es en la banda de 25.875 Khz para carga de datos, y 138Khz a 1104Khz para la banda de descarga. Mientras ADSL utiliza la banda de hasta 2.2Mhz y es notable que ambas tecnologías ADSL y VDSL usan lógicamente la misma banda para PSTN, dado que ese ancho de banda es el necesario y suficiente para funciones de voz y telefonía tanto fija como celular. Como se había mencionado, ADSL provee mayor ancho de banda para descarga, hecho que no es deseable para aplicaciones de empresas, dado que los usuarios pueden tener acceso a negocios remotos, y la velocidad de carga de datos también es requerida. Por eso es desventaja clara para ADSL respecto de VDSL, aunque ADSL provee mayor distancia de transmisión del usuario al DSLAM, hecho que es una gran desventaja para VDSL por el hecho que VDSL aun no se ha popularizado tan masivamente como ADSL. Entonces se requiere mayor instalación de DSLAMs para proveer mejor servicio. (Chequear costo de oportunidad).

## 2.4.2 Estándares de ADSL y ADSL2

He aquí los estándares de ADSL y ADSL2:

<i>Estándar</i>	<i>Tasa de descarga</i>	<i>Tasa de carga</i>
ANSI T1.413-1998 Issue 2	8Mbps	1Mbps
ITU G.992.1	8Mbps	1Mbps
ITU G.992.2 (ADSL lite)	1.5Mbps	0.5Mbps
ITU G.992.3/4	12Mbps	1Mbps
ITU G.992.5 (ADSL2)	24Mbps	1Mbps
ITU G.992.5 AnnexM (ADSL2)	28Mbps	3.5Mbps

## 2.4.3 Comparación de servicios soportados para VDSL y ADSL.

Aplicación	Descarga	Carga	ADSL	VDSL
Acceso a Internet	400Kbps-1.5Mbps	128Kbps-640Kbps	si	si
Servidor de Internet	400Kbps-1.5Mbps	400Kbps-1.5Mbps	si (recientemente)	si
Video Conferencia	384Kbps-1.5Mbps	400Kbps-1.5Mbps	si (recientemente)	si
VOD	6Mbps-18Mbps	64Kbps-128Kbps	si (recientemente)	si
Video Interactivo	1.5Mbps-6Mbps	128Kbps-1.5Mbps	si (recientemente)	si
Telemedicina	6Mbps	384Kbps-1.5Mbps	si (recientemente)	si
Educación en línea	384kbps-1.5Mbps	384Kbps-1.5Mbps	si (recientemente)	si
HDTV	18Mbps-24Mbps	64Kbps-640Kbps	no	si
Trabajo a distancia	1.5Mbps-3Mbps	1.5Mbps-3Mbps	no	si
VOD múltiple	18Mbps	64Kbps-640Kbps	no	si

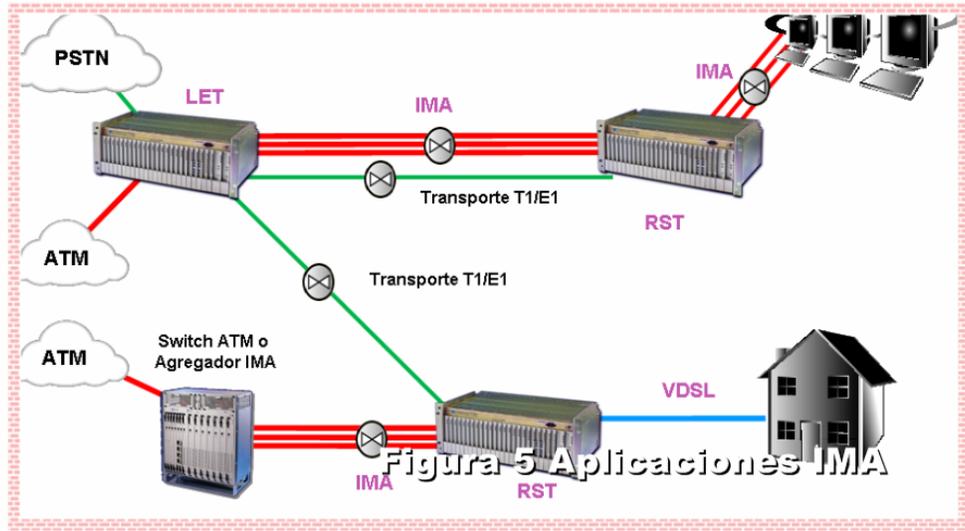
## CAPÍTULO III

### 3. ATM

#### 3.1 Descripción

El modo de transferencia asíncrono es el estándar para redes de alta velocidad que sirve para integrar voz, datos y video. Usa paquetes llamados celdas de tamaño pequeño y de largo fijo, y puede ayudar a predecir la velocidad de transmisión. Además utiliza el mecanismo de ancho de banda en demanda, es decir es flexible, según sea la aplicación, así medirá el tamaño necesario para su transmisión, lo cual permite que para el uso del ancho de banda, hará que se evite malgasto o desperdicio de ancho de banda. Además, tiene tecnología de conexión orientada, es decir cada paquete (celda) con el mismo destino y fuente, viajarán por la misma vía. Así hará que se guarde un camino, por efecto, se evitará la espera al momento de descargar datos de mismo servidor. También tiene el potencial para remover cuellos de botella para LAN y WAN. En esta gráfica se puede observar las aplicaciones de IMA para VDSL. Tanto IMA como R99 que es una técnica de control de acceso para HSDPA, (High Speed Downlink Packet Access), es una tecnología de acceso de 3G son soportadas por ATM, razón por la cual aún se mantiene vigente ATM, contrario a lo que se cree en el vox populi.

En la figura 5 se muestran algunas de las aplicaciones IMA



### 3.2 Capas del protocolo ATM

Existen tres capas en el protocolo ATM:

1. *Capa física*: Es el medio de transmisión, de Kbps a Gbps.
2. *Capa ATM* Son paquetes llamados celdas de 53 bytes, 48 bytes de carga de datos, multiplexa canales lógicos mediante el mismo canal físico. Además, dado que el largo de las celdas es fijo, se posee un hardware de switcheo muy rápido, pero posee, asimismo problemas de manejo de tráfico.

En esta gráfica se verá la estructura de una celda ATM:

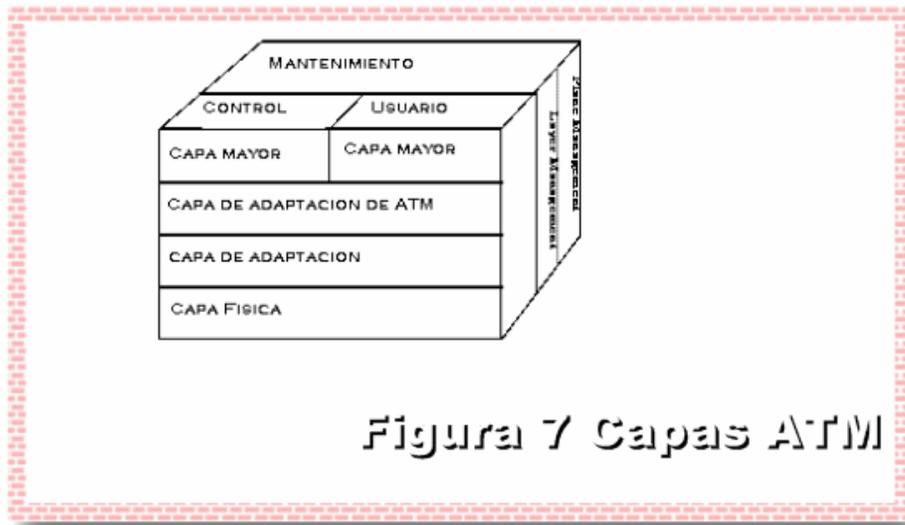
En la figura 6 se describe la estructura de una celda ATM.



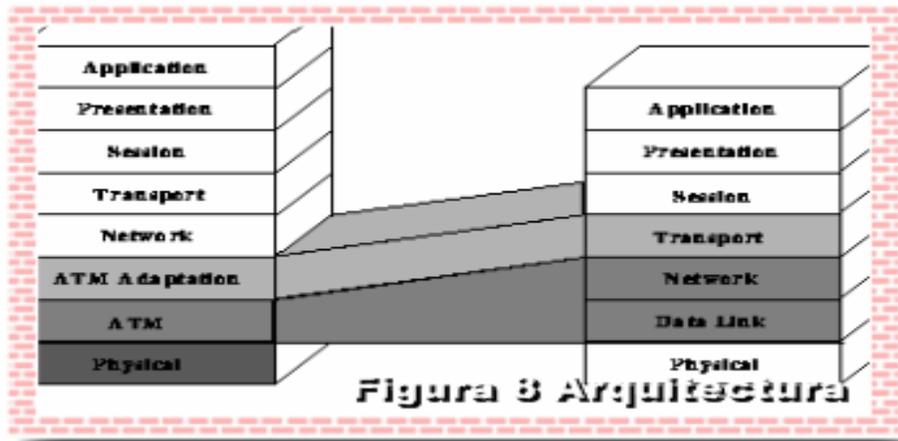
3. *Capa de adaptación:*

- Tipo 1: servicios de tasa de bits constante
- Tipo 2: servicios de tasa de bits variable
- Tipo 3/4: servicios sin conexión/ protocolos de data.
- Tipo 5: Protocolo de data muy rápido.

En esta gráfica se ven las capas ATM mencionadas anteriormente.



En esta grafica se ve la comparación entre la arquitectura del protocolo ATM y la arquitectura del Modelo OSI



### 3.3 Beneficios

Beneficios de ATM, especialmente para VDSL:

1. Una red ATM proveerá a una red simple todos los tipos de tráfico, (voz, video y datos), al permitir la integración a más redes y mejorar la eficiencia y manejo. Aquí, lo más importante es la diferenciación de tráfico, (ABR, UBR, VBR, GFR), como por ejemplo el tráfico CBR para voz y el UBR para buscadores, la World Wide Web, y el e-mail. Además uno tiene alto uso de buffer (UBR) y el otro poco uso de buffer (CBR).
2. Habilita nuevas aplicaciones dado su velocidad e integración de tipos de tráfico; ATM habilita la creación y expansión de nuevas aplicaciones así como multimedia para el escritorio.
3. Compatibilidad: ATM no está basado en un tipo específico de transporte, porque es compatible con todo el cableado físico instalado actual. ATM puede ser transportado sobre UTP, cable coaxial y fibra óptica.
4. Esfuerzos de migración incremental: Mediante las organizaciones de estandarización y el foro ATM continúa asegurando que las redes podrán tener ganancia de los beneficios del aumento de porciones de red basados en los requerimientos de las aplicaciones y las necesidades de los negocios.
5. Simplifica el manejo y mantenimiento, ya que ATM está evolucionando a un estándar para redes locales, backbones y tecnologías WAN, y esta uniformidad está intencionada a simplificar el manejo de la red y usar la misma tecnología para todos los niveles de la red.
6. Larga duración de vida de su arquitectura, ya que los sistemas y las industrias de telecomunicaciones están enfocándose en estandarizar todas las redes en ATM, y se ha sido diseñado para tener escalabilidad en:

- Distancia Geográfica
- Número de usuarios
- Acceso a anchos de banda truncados

### **3.4 Desventajas de ATM**

1. El desperdicio del header de ATM (5 bytes por celda), ya que si se envían muchas celdas ATM de la misma fuente al mismo destino, no es necesario el mismo header, con uno sería suficiente. Actualmente existen equipos MPLS que compensan esto mediante concatenación de N celdas con un solo header. Actualmente existen equipos MPLS que compensan esto mediante concatenación de N celdas con un solo header.
2. Mecanismos complejos para alcanzar calidad de servicio
3. Por congestión, puede haber pérdidas de paquetes (celdas).

### **3.5 Características de ATM**

ATM incluye:

- OTM en el lado central.
- Distribuidor pasivo
- ONT en el lado del suscriptor.

El módulo de ONT es el elemento más crítico para el sistema APON, ya que debe ser instalado en cada cliente, contra un sólo OLT en el lado central. Es éste el que determina el costo total del sistema. Consecuentemente, su concepto debe ser tan simple como sea posible y optimizado respecto de su consumo de potencia, disponibilidad y costo.

Una celda basada en la técnica TDMA se usa para soportar esta topología de acceso, al asegurar operación full dúplex (en ambas vías de manera simultánea) y acceso múltiple a una sola fibra. Para ambas direcciones, las celdas ATM se encapsulan en paquetes APON (Sistema pasivo óptico de ATM). Un pequeño encabezado de un byte se suma a cada celda ATM para proveer la sincronización y el transporte de red con sus respectivas funciones, por ejemplo, la identificación del protocolo de acceso de salida (en otras palabras, la identificación a la entrada del multiplexor TDM).

Se ha tomado especial cuidado en minimizar el largo del encabezado del paquete para mantener la eficiencia lo más alta, respecto del transporte de la carga útil de ATM en cuanto a su capacidad. Se ha probado que un simple octeto de encabezado por cada celda de ATM es suficiente para proveer las funcionalidades requeridas. Esto resulta en el mismo encabezado que se usa en el SDH: 155.2Mbps de transporte físico para una carga útil de 149.76 Mbps, o 4 veces este valor para un STM-4. Las funciones de operación y mantenimiento se proveen por medio de las celdas PLOAM (Mantenimiento y operación de la capa física). En la dirección de recepción (downstream), las celdas individuales se identifican por su dirección de transmisión (upstream). En la dirección de transmisión sólo un suscriptor está permitido transmitir a un tiempo dado, los permisos se transportan en los octetos de encabezado de la recepción. Los permisos y la transmisión son ajustados de tal forma que se convierten en un tren continuo de celdas multiplexado en una fibra, separados por una pequeña banda de guarda. Esta banda es provista por los primeros 2 bits en el encabezado de cada celda ATM. En adición, este mecanismo de permisos por cada celda individual, provee una función implícita de seguridad, ya que cada ONT enviará una celda bajo un permiso dado.

### **3.5.1 Capacidad:**

El sistema se diseña para distribuirse con un factor mayor de 16. El factor limitante es principalmente el ancho de banda disponible a ser compartido por los suscriptores y el presupuesto de potencia óptico. Se propone compartir una capacidad de 155 Mbps hasta para 16 suscriptores, para mayores factores, se requerirá mayor ancho de banda, o se degradará el ancho de banda disponible para cada cliente.

Para la dirección de recepción, una tasa de 155 Mbps o 622 Mbps se ha seleccionado, la solución de 622 Mbps es requerida para proveer ancho de banda suficiente para servicios de distribución de TV. El sistema APON provee una excelente plataforma para la implementación de servicios de VOD.

### **3.5.2 Técnicas de habilitación**

Para obtener bajo costo, alto desempeño y un sistema de transporte flexible, se pueden adoptar las siguientes técnicas:

1. Operación full dúplex/simples en 2 fibras/ WDM
2. La operación full dúplex en una sola longitud de onda (Transmisión y recepción en los 1300 nm) tiene las siguientes ventajas sobre la solución simples y de WDM.
3. No se tienen altos requerimientos en la estabilidad de la longitud de onda (como se requeriría en WDM en la misma ventana óptica).
4. Acceso por una sola fibra.
5. La ventana de 1550 nm se mantiene libre para transmisión de CATV analógico o para futuras extensiones. Para la operación full dúplex, se tiene la penalidad de potencia en el presupuesto de la potencia óptica, para

compensar la luz reflejada hacia atrás en el acoplador de 3dB y en la planta de cable. Según cálculos, confirmados por evidencia real, se muestra que esta penalidad es despreciable si se cumplen las siguientes condiciones:

- Directividad del divisor de potencia (Power splitter) mayor a 50dB
- Reflectividad del conector y distribuidor menor a -45dB. La primera condición se consigue fácilmente con fibra fusionada o divisores de guía de onda planos.

La segunda condición restringe los tipos de conectores que se pueden usar. El SC (conector de suscriptor) o FC/APC (Contacto físico de cara angular) son los conectores que cumplen con la especificación. También se han puesto en el mercado, con costo más bajo y reflectividad baja, los EC (conector europeo). Para ambientes donde el full dúplex no es posible (alta reflectividad en las plantas del cable), el sistema de transporte APON puede también soportar la operación de 2 fibras. Asimismo puede soportar WDM (1300-1500 nm).

### **3.5.3 Sincronización**

Las celdas transmitidas en la dirección de transmisión se entremezclan en el divisor óptico; para reducir el encabezado entre las celdas consecutivas de mejor forma, y para obtener un mayor desempeño de ancho de banda, se ha desarrollado un método de sincronización rápida, que permite la recuperación de la fase del reloj con un corto preámbulo (3 bits). La incerteza del arribo de la celda de cierta unidad de suscriptor, se reduce a +/-1 bit por un mecanismo de clasificación.

Cada trama de transmisión de celda de ATM es precedida por un patrón CPA (alineamiento de fase de reloj) de 3 bit, por ejemplo, 011. Este patrón es muestreado por 8 señales de reloj, con un offset (punto muerto) de  $360/8$  grados. El centro del patrón que se busca, y el correspondiente reloj

con su centro, se usa para el muestreo de la información. La fase instantánea de reloj se integra sobre el tiempo con las mediciones previas para la misma unidad suscriptor, para evitar la multiplicación de errores de bits, si el patrón CPA se llegara a corromper.

#### **3.5.4 Ecuación de la potencia óptica**

Debido a las diferencias en la longitud de la fibra y el factor de división, la potencia óptica recibida de los distintos suscriptores es en general, distinta. La máxima diferencia es menor a los 20dB (un divisor de 1:2 en una distancia corta, comparado con uno de 1:16 a máxima distancia). La mitad de esta diferencia de potencia y la incerteza de la salida del láser se elimina por el ajuste de nivel de la salida del láser en el lado del ONT, mientras que la diferencia e incerteza restante de la salida de la salida del láser son manejados por el amplificador limitante y el límite adaptable del receptor en las OLT.

#### **3.5.5 Técnica de clasificación sin interrupción**

Una técnica de clasificación de dos pasos se puede usar, que permite la inserción en caliente de las unidades suscriptoras, y no genera excesivo jitter (perdidas por sincronismo, deslizamiento del reloj) de celdas:

1. En el primer paso, la clasificación fina es llevada para reducir la incerteza en el retardo de +/-1 celda. Esta clasificación está basada en la transmisión de baja potencia, patrón de correlación de baja frecuencia, DPSK modulada en una portadora de 160 MHz, de la ONT a al OLT, a petición de las OLT

mientras se da la fase de inicio. En el lado de la OLT, la señal clasificadora se recupera por medio de la señal de entrada del patrón de correlación. La localización del punto alto de la autocorrelación es un indicativo del retardo y de ahí de la distancia de la ONT. Una precisión de  $\pm 1$  celda se obtiene.

2. En el segundo paso, un período de 2 celdas (para cubrir la incerteza de  $\pm 1$  celda) se reserva en la dirección de transmisión, y un patrón de rango fino se introduce durante este periodo. El retardo para que este patrón alcance este OLT se cuenta, y da una medida de la distancia hacia el suscriptor de  $\pm 1$  bit. Si no se usara un rango fino, un período de 36 celdas se necesitaría tener reservado en la dirección de transmisión, que llevaría a un exceso de jitter de celdas para las unidades suscriptoras activas. Como consecuencia, esto introduciría un retardo extra y requerimientos de memoria mayores para el sistema.

### **3.5.6 Mecanismo de acceso**

Debido a la topología física, es difícil desarrollar un mecanismo de acceso sin conexión para un PON basada en un circuito local. El problema principal es que la comunicación entre los suscriptores vecinos es posible vía la OLT, debido al tiempo de propagación, toma al menos  $100 \mu\text{s}$  ( $2 \times 10 \text{ Km}$ ) para el intercambio de información de control de acceso entre las unidades vecinas. Se ha seleccionado un acercamiento deferente y simple. Por confinamiento de la localización del ancho de banda pico, el mecanismo de acceso se vuelve un proceso semi estático, que se puede centralizar en la OLT. Los requerimientos del pico del ancho de banda de todos los suscriptores son conocidos en el lado de la OLT, esto permite implementar un organizador simple en la OLT, que regula los permisos en los suscriptores. La frecuencia de los permisos es proporcional al ancho de banda asignado a los suscriptores.

Los permisos son comunicados a los suscriptores mediante la inserción de un TEA (dirección de habilitación de transmisión) en la dirección de recepción. Cuando un TEA cuadra con la dirección física de la unidad suscriptora, esta puede transmitir durante el tiempo (spot) de la celda asignado en la dirección de transmisión. Estos bits de TEA pueden ser fácilmente colocados en un solo byte del encabezado del sistema APON. Como un mecanismo completo de acceso es un proceso semi estático puede ser llevado al relevar los requerimientos de velocidad, tanto para la ONT como para la OLT.

## **3.6 Backbone MPLS**

### **3.6.1 Características**

De las siglas en inglés Multiprotocol Label Switching (switchero en capa de multiprotocolo), MPLS es el tipo de IP (protocolo Internet) que ayuda a desarrollar y manejar la nueva generación de IP, y la generación 3G/4G de voz móvil, datos y servicios de video, al optimizar costo y converger todas las redes a una sola, mientras se incrementa la escalabilidad y la eficiencia en el ancho de banda.

La solución MPLS provee las siguientes capacidades:

1. *Convergencia de redes independientes múltiples*: es decir, la transición de múltiples redes de un propósito hacia una red simple, por medio de un empacamiento de voz, video, señalización y servicios de datos. Se gana escalabilidad y facilidad en introducir al mercado los servicios 3G/4G y aplicaciones como video móvil, juegos en red y servicios de Internet móvil. La convergencia de redes es habilitada por una VPN de MPLS. Esta tecnología permite que una red física pueda ser fraccionada en muchas VPNs independientes, cada una tiene distintas características, tipos de

tráfico y calidad de servicio (QoS), que son predefinidas por el operador. Por ejemplo, una señalización de tráfico SS7 y tráfico MIS es transportada confiadamente por la misma red.

2. *Implementar servicios móviles de IP de alta calidad:* el IP MPLS toma ventaja del ruteo inteligente de IP, las características de señalización de ATM, y el “end-to-end” QoS controla que el administrador permita priorizar y garantizar diferentes tipos de tráfico. Con QoS avanzado, la calidad de la voz no es afectada por la migración de IP.
3. *Proveer confiabilidad y disponibilidad a las portadoras de clase IP:* dado que el IP MPLS soporta características avanzadas como ingeniería de tráfico, y re-ruteo rápido, que permite habilitar una red IP y así recuperarse rápidamente de varios tipos de fallas. Los expertos han diseñado una arquitectura de backbone MPLS que pueda asegurar suficiente protección y ancho de banda para la red, al evitar así DDOS (distributed denial of service).
4. *Escalabilidad de larga duración para el crecimiento de capacidades y servicios:* permite escalar de redes 2.5G a 10G o aun 40G, que hace posible la compatibilidad entre tráfico, clientes y crecimiento de servicios.

Dadas las grandes ventajas que provee el backbone IP/MPLS, es útil al momento de implementar VDSL, dado que al momento de querer renovar la red, MPLS permite la compatibilidad de tecnologías, así como convergencia de redes, al facilitar así el monitoreo y control de la red VDSL.

### **3.6.2 Operación de MPLS**

La operación del MPLS se basa en las componentes funcionales de envío y control, que actúan ligadas íntimamente, las cuales son:

- a) *Funcionamiento del envío de paquetes en MPLS:*

La base del MPLS está en la asignación e intercambio de etiquetas, que permiten el establecimiento de los caminos LSP (proveedores de servicio de

capas) por la red. Los LSPs son simplex por naturaleza (se establecen para un sentido del tráfico en cada punto de entrada a la red); el tráfico dúplex requiere dos LSPs, uno en cada sentido. Cada LSP se crea a base de concatenar uno o más saltos (hops) en los que se intercambian las etiquetas, de modo que cada paquete se envía de un "conmutador de etiquetas" (Label-Switching Router) a otro, a través del dominio MPLS. Un LSR (Router de switcheo de etiquetas) no es sino un router especializado en el envío de paquetes etiquetados por MPLS.

Al igual que en las soluciones de conmutación multinivel, MPLS separa las dos componentes funcionales de control (routing) y de envío (forwarding). Del mismo modo, el envío se implementa mediante el intercambio de etiquetas en los LSPs. Sin embargo, MPLS no utiliza los protocolos de señalización ni de encaminamiento definidos por el *ATM Forum*; en lugar de ello, en MPLS, o bien utiliza el protocolo RSVP (Protocolo de reservación de recursos), o un nuevo estándar de señalización (el Label Distribution Protocol, LDP). Pero, de acuerdo con los requisitos del IETF, el transporte de datos puede ser cualquiera. Si éste fuera ATM, una red IP habilitada para MPLS es ahora mucho más sencilla de gestionar que la solución clásica IP/ATM. Ahora ya no hay que administrar dos arquitecturas diferentes a base de transformar las direcciones IP y las tablas de encaminamiento en las direcciones y el encaminamiento ATM: esto lo resuelve el procedimiento de intercambio de etiquetas MPLS. El papel de ATM queda restringido al mero transporte de datos a base de celdas. Para MPLS esto es indiferente, ya que puede utilizar otros transportes como Frame Relay, o directamente sobre líneas punto a punto.

Un camino LSP es el circuito virtual que siguen por la red todos los paquetes asignados a la misma FEC (Canal rápido de Ethernet). Al primer LSR que interviene en un LSP se le denomina de entrada o de cabecera, y al último se le denomina de salida o de cola. Los dos están en el exterior del

dominio MPLS. El resto, entre ambos, son LSRs interiores del dominio MPLS. Un LSR es como un router que funciona a base de intercambiar etiquetas según una tabla de envío. Esta tabla se construye a partir de la información de encaminamiento que proporciona la componente de control. Cada entrada de la tabla contiene un par de etiquetas entrada/salida correspondientes a cada interfaz de entrada, que se utilizan para acompañar a cada paquete que llega por ese interfaz y con la misma etiqueta (en los LSR exteriores sólo hay una etiqueta, de salida en el de cabecera y de entrada en el de cola). A un paquete que llega al LSR por interfaz 3 de entrada con la etiqueta 45 el LSR le asigna la etiqueta 22 y lo envía por el interfaz 4 de salida al siguiente LSR. El algoritmo de intercambio de etiquetas requiere la clasificación de los paquetes a la entrada del dominio MPLS para hacer la asignación por el LSR de cabecera. Asimismo, este LSR le asigna una etiqueta (con valor 5 en el ejemplo) y envía el paquete al siguiente LSR del LSP. Dentro del dominio MPLS los LSR ignoran la cabecera IP; solamente analizan la etiqueta de entrada, consultan la tabla correspondiente (tabla de conmutación de etiquetas) y la reemplazan por otra nueva, de acuerdo con el algoritmo de intercambio de etiquetas. Al llegar el paquete al LSR de cola (salida), ve que el siguiente salto lo saca de la red MPLS; al consultar ahora la tabla de conmutación de etiquetas quita ésta y envía el paquete por routing convencional.

La identidad del paquete original IP queda enmascarada durante el transporte por la red MPLS, que no "mira" sino las etiquetas que necesita para su envío por los diferentes saltos LSR que configuran los caminos LSP. Las etiquetas se insertan en cabeceras MPLS, entre los niveles 2 y 3. Según las especificaciones del IETF, MPLS debía funcionar sobre cualquier tipo de transporte: PPP, LAN, ATM, Frame Relay, etc. Por ello, si el protocolo de transporte de datos contiene ya un campo para etiquetas (como ocurre con los campos VPI/VCI de ATM y DLCI de Frame Relay), se utilizan esos campos nativo para las etiquetas. Sin embargo, si la tecnología de nivel 2

empleada no soporta un campo para etiquetas (p. ej. enlaces PPP o LAN), entonces se emplea una cabecera genérica MPLS de 4 octetos, que contiene un campo específico para la etiqueta y que se inserta entre la cabecera del nivel 2 y la del paquete (nivel 3).

b) *Control de la información en MPLS:* Hasta ahora se ha visto el mecanismo básico de envío de paquetes a través de los LSPs mediante el procedimiento de intercambio de etiquetas según las tablas de los LSRs. Pero queda por ver dos aspectos fundamentales:

- Cómo se generan las tablas de envío que establecen los LSPs
- Cómo se distribuye la información sobre las etiquetas a los LSRs.

El primero de ellos está relacionado con la información de la red: topología, patrón de tráfico, características de los enlaces, etc. Es la información de control típica de los algoritmos de encaminamiento. MPLS necesita esta información de routing para establecer los caminos virtuales LSPs. Lo más lógico es utilizar la propia información de encaminamiento que manejan los protocolos internos IGP (OSPF, IS-IS, RIP...) para construir las tablas de encaminamiento (recuérdese que los LSR son routers con funcionalidad añadida). Esto es lo que hace MPLS precisamente: para cada "ruta IP" en la red se crea un "camino de etiquetas" a base de concatenar las de entrada/salida en cada tabla de los LSRs; el protocolo interno correspondiente se encarga de pasar la información necesaria.

El segundo aspecto se refiere a la información de "señalización". Siempre que se quiera establecer un circuito virtual se necesita algún tipo de señalización para marcar el camino, es decir, para la distribución de etiquetas entre los nodos. Sin embargo, la arquitectura MPLS no asume un único protocolo de distribución de etiquetas. De hecho se están estandarizando algunos existentes con las correspondientes extensiones, unos de ellos es el protocolo RSVP del Modelo de Servicios Integrados del IETF. Además, en el IETF se están definiendo otros nuevos y específicos para la distribución de etiquetas, como Label Distribution Protocol (LDP).

c) *Funcionamiento global MPLS*

Es importante destacar que en el borde de una nube MPLS se tiene una red convencional de routers IP. El núcleo MPLS proporciona una arquitectura de transporte que hace aparecer a cada par de routers a una distancia de un sólo salto. Funcionalmente es como si estuvieran unidos todos en una topología mallada (directamente o por PVCs ATM). Ahora, esa unión a un solo salto se realiza por MPLS mediante los correspondientes LSPs (puede haber más de uno para cada par de routers). La diferencia con topologías conectivas reales es que en MPLS la construcción de caminos virtuales es mucho más flexible y no se pierde la visibilidad sobre los paquetes IP. Todo ello abre enormes posibilidades a la hora de mejorar el rendimiento de las redes y de soportar nuevas aplicaciones de usuario.

### **3.6.3 Aplicaciones de MPLS**

Las principales aplicaciones que hoy en día tiene MPLS son:

- Ingeniería de tráfico
- Diferenciación de niveles de servicio mediante clases (CoS)
- Servicio de redes privadas virtuales (VPN)

### **3.6.4 Ingeniería de tráfico**

El objetivo básico de la ingeniería de tráfico es adaptar los flujos de tráfico a los recursos físicos de la red. La idea es equilibrar de forma óptima la utilización de esos recursos, de manera que no haya algunos que estén sobre-utilizados, con posibles puntos calientes y cuellos de botella, mientras otros puedan estar infrautilizados. A comienzos de los 90, los esquemas para adaptar de forma efectiva los flujos de tráfico a la topología física de las redes IP eran bastante rudimentarios. Los flujos de tráfico siguen el camino más corto calculado por el algoritmo IGP correspondiente. En casos de congestión de algunos enlaces, el problema se resolvía a base de añadir

más capacidad a los enlaces. La ingeniería de tráfico consiste en trasladar determinados flujos seleccionados por el algoritmo IGP (Protocolo interior de Gateway) sobre enlaces más congestionados, a otros enlaces más descargados, aunque estén fuera de la ruta más corta (con menos saltos). El camino más corto según la métrica normal IGP es el que tiene sólo dos saltos, pero puede que el exceso de tráfico sobre esos enlaces, o el esfuerzo de los routers correspondientes, hagan aconsejable la utilización del camino alternativo al indicar con un salto más. MPLS es una herramienta efectiva para esta aplicación en grandes backbones, ya que:

- Permite al administrador de la red el establecimiento de rutas explícitas, al especificar el camino físico exacto de un LSP.
- Permite obtener estadísticas de uso LSP, que se pueden utilizar en la planificación de la red y como herramientas de análisis de cuellos de botella y carga de los enlaces, lo que resulta útil para planes de expansión futura.
- Permite hacer "encaminamiento restringido" (Constraint-based Routing, CBR), de modo que el administrador de la red pueda seleccionar determinadas rutas para servicios especiales (distintos niveles de calidad). Por ejemplo, con garantías explícitas de retardo, ancho de banda, fluctuación, pérdida de paquetes, etc.

La ventaja de la ingeniería de tráfico MPLS es que se puede hacer directamente sobre una red IP, al margen de que haya o no una infraestructura ATM por debajo. Todo ello de manera más flexible y con menores costes de planificación y gestión para el administrador, y con mayor calidad de servicio para los clientes.

### **3.6.5 Clases de servicio (CoS)**

MPLS está diseñado para cursar servicios diferenciados, según el Modelo DiffServ del IETF. Este modelo define una variedad de mecanismos

para clasificar el tráfico en un reducido número de clases de servicio, con diferentes prioridades. Según los requisitos de los usuarios, DiffServ permite diferenciar servicios tradicionales tales como el WWW, el correo electrónico o la transferencia de ficheros (para los que el retardo no es crítico), de otras aplicaciones mucho más dependientes del retardo y de la variación del mismo, como vídeo y voz interactiva. Para ello se emplea el campo ToS (Type of Service), rebautizado en DiffServ como el octeto DS. Esta es la técnica QoS de marcar los paquetes que se envían a la red. Es importante mencionar que CoS se conoce como tal en IP y que QoS es “hard QoS” tipo ATM y es capa 2. Es importante mencionar que CoS funciona como tal en IP y que QoS se puede elevar a “hard QoS” tipo ATM y es capa 2.

MPLS se adapta perfectamente a ese modelo, ya que las etiquetas MPLS tienen el campo EXP para propagar la clase de servicio CoS en el correspondiente LSP. De este modo, una red MPLS puede transportar distintas clases de tráfico, ya que:

- el tráfico que fluye a través de un determinado LSP se puede asignar a diferentes colas de salida en los diferentes saltos LSR, de acuerdo con la información contenida en los bits del campo EXP.
- entre cada par de LSR exteriores se pueden provisionar múltiples LSPs, cada uno de ellos con distintas prestaciones y garantías de ancho de banda. Por ejemplo, un LSP puede ser para tráfico de máxima prioridad, otro para una prioridad media y un tercero para tráfico best-effort, tres niveles de servicio, primera, preferente y turista, que, lógicamente, tendrán distintos precios.

### **3.6.6 Redes Privadas Virtuales (VPNs)**

Una red privada virtual (VPN) se construye a base de conexiones realizadas sobre una infraestructura compartida, con funcionalidades de red

y de seguridad equivalentes a las que se obtienen con una red privada. El objetivo de las VPNs es el soporte de aplicaciones intra/extranet, al integrar aplicaciones multimedia de voz, datos y vídeo sobre infraestructuras de comunicaciones eficaces y rentables. La seguridad supone aislamiento, y "privada" indica que el usuario "cree" que posee los enlaces. Las IP VPNs son soluciones de comunicación VPN basada en el protocolo de red IP de la Internet. Las VPNs tradicionales se han venido construyendo sobre infraestructuras de transmisión compartidas con características implícitas de seguridad y respuesta predeterminada. Tal es el caso de las redes de datos Frame Relay, que permiten establecer PVCs entre los diversos nodos que conforman la VPN. La seguridad y las garantías las proporcionan la separación de tráficos por PVC y el caudal asegurado (CIR). Algo similar se puede hacer con ATM, con diversas clases de garantías. Los inconvenientes de este tipo de solución es que la configuración de las rutas se basa en procedimientos más bien artesanales, al tener que establecer cada PVC entre nodos, con la complejidad que esto supone al proveedor en la gestión (y los mayores costes asociados). Si se quiere tener conectados a todos con todos, en una topología lógica totalmente mallada, añadir un nuevo emplazamiento supone retocar todos los CPEs del cliente y restablecer todos los PVCs. Además, la popularización de las aplicaciones TCP/IP, así como la expansión de las redes de los NSPs, ha llevado a tratar de utilizar estas infraestructuras IP para el soporte de VPNs, al conseguir una mayor flexibilidad en el diseño e implantación y unos menores costes de gestión y provisión de servicio. La forma de utilizar las infraestructuras IP para servicio VPN (IP VPN) ha sido la de construir túneles IP de diversos modos.

El objetivo de un túnel sobre IP es crear una asociación permanente entre dos extremos, de modo que funcionalmente aparezcan conectados. Lo que se hace es utilizar una estructura no conectiva como IP para simular esas conexiones: una especie de tuberías privadas por las que no puede entrar nadie que no sea miembro de esa IP VPN. No es el objetivo de esta

sección una exposición completa de IP VPNs sobre túneles. Se pretende tan sólo resumir sus características para apreciar luego las ventajas que ofrece MPLS frente a esas soluciones. Se puede obtener más información sobre IP VPN con túneles en las referencias correspondientes a VPNs con MPLS.

Los túneles IP en conexiones dedicadas (no se va a tratar aquí de las conexiones conmutadas de acceso) se pueden establecer de dos maneras:

- en el nivel 3, mediante el protocolo IPSec del IETF
- en el nivel 2, mediante el encapsulamiento de paquetes privados (IP u otros) sobre una red IP pública de un NSP.

En las VPNs basadas en túneles IPSec, la seguridad requerida se garantiza mediante el cifrado de la información de los datos y de la cabecera de los paquetes IP, que se encapsulan con una nueva cabecera IP para su transporte por la red del proveedor. Es relativamente sencillo implementar, bien sea en dispositivos especializados, tales como cortafuegos, como en los propios routers de acceso del NSP. Además, como es un estándar, IPSec permite crear VPNs a través de redes de distintos NSPs que sigan el estándar IPSec. Pero como el cifrado IPSec oculta las cabeceras de los paquetes originales, las opciones QoS son bastante limitadas, ya que la red no puede distinguir flujos por aplicaciones para asignarles diferentes niveles de servicio. Además, sólo vale para paquetes IP nativos, IPSec no admite otros protocolos.

En los túneles de nivel 2 se encapsulan paquetes multiprotocolo (no necesariamente IP), sobre los datagramas IP de la red del NSP. De este modo, la red del proveedor no pierde la visibilidad IP, por lo que hay mayores posibilidades de QoS para priorizar el tráfico por tipo de aplicación IP. Los clientes VPN pueden mantener su esquema privado de direcciones, al establecer grupos cerrados de usuarios, si así lo desean. (Además de encapsular los paquetes, se puede cifrar la información por mayor

seguridad, pero en este caso limitando las opciones QoS). A diferencia de la opción anterior, la operación de túneles de nivel 2 está condicionada a un único proveedor.

A pesar de las ventajas de los túneles IP sobre los PVCs, ambos enfoques tienen características comunes que las hacen menos eficientes frente a la solución MPLS:

- Están basadas en conexiones punto a punto (PVCs o túneles)
- La configuración es manual
- La provisión y gestión son complicadas; una nueva conexión supone alterar todas las configuraciones
- Plantean problemas de crecimiento al añadir nuevos túneles o circuitos virtuales
- La gestión de QoS es posible en cierta medida, pero no se puede mantener extremo a extremo a lo largo de la red, ya que no existen mecanismos que sustenten los parámetros de calidad durante el transporte.

Realmente, el problema que plantean estas IP VPNs es que están basadas en un modelo topológico superpuesto sobre la topología física existente, a base de túneles extremo a extremo (o circuitos virtuales) entre cada par de routers de cliente en cada VPN. De ahí las desventajas en cuanto a la poca flexibilidad en la provisión y gestión del servicio, así como en el crecimiento cuando se quieren añadir nuevos emplazamientos. Con una arquitectura MPLS se obvian estos inconvenientes, ya que el modelo topológico no se superpone, sino que se acopla a la red del proveedor. En el modelo acoplado MPLS, en lugar de conexiones extremo a extremo entre los distintos emplazamientos de una VPN, lo que hay son conexiones IP a una "nube común" en las que solamente pueden entrar los miembros de la misma VPN. Las "nubes" que representan las distintas VPNs se implementan mediante los caminos LSPs creados por el mecanismo de intercambio de etiquetas MPLS. Los LSPs son similares a los túneles en cuanto a que la red transporta los paquetes del usuario (incluyendo las

cabeceras) sin examinar el contenido, a base de encapsularlos sobre otro protocolo. Aquí está la diferencia: en los túneles se utiliza el encaminamiento convencional IP para transportar la información del usuario, mientras que en MPLS esta información se transporta sobre el mecanismo de intercambio de etiquetas, que no ve para nada el proceso de routing IP. Sin embargo, sí se mantiene en todo momento la visibilidad IP hacia el usuario, que no sabe nada de rutas MPLS, sino que ve una internet privada (intranet) entre los miembros de su VPN. De este modo, se pueden aplicar técnicas QoS basadas en el examen de la cabecera IP, que la red MPLS podrá propagar hasta el destino, pudiendo así reservar ancho de banda, priorizar aplicaciones, establecer CoS y optimizar los recursos de la red con técnicas de ingeniería de tráfico.

Como resumen, las ventajas que MPLS ofrece para IP VPNs son:

- Proporcionan un modelo "acoplado" o "inteligente", ya que la red MPLS "sabe" de la existencia de VPNs (lo que no ocurre con túneles ni PVCs)
- Evita la complejidad de los túneles y PVCs.
- La provisión de servicio es sencilla: una nueva conexión afecta a un solo router
- Tiene mayores opciones de crecimiento modular
- Permiten mantener garantías QoS extremo a extremo, al separar flujos de tráfico por aplicaciones en diferentes clases, gracias al vínculo que mantienen el campo EXP de las etiquetas MPLS con las clases definidas a la entrada
- Permite aprovechar las posibilidades de ingeniería de tráfico para poder garantizar los parámetros críticos y la respuesta global de la red (ancho banda, retardo, fluctuación), que es necesario para un servicio completo VPN.

## CAPÍTULO IV

### 4. PRINCIPIOS ECONÓMICOS PARA DESARROLLAR EL COSTO DE OPORTUNIDAD, EN LA IMPLEMENTACIÓN PARA LA RED METROPOLITANA EN GUATEMALA.

#### 4.1 Definición de Costo de oportunidad.

El costo de oportunidad de un recurso es el beneficio factible pero no materializado, al no incluir esta opción de uso del recurso en cuestión como la manera alternativa más rentable. El origen del término “Costo de Oportunidad” se encuentra en el problema de la toma de decisiones, particularmente en el problema de la elección. Generalmente las decisiones en economía deben ser tomadas de acuerdo a criterios de costo y beneficio.

La regla recomienda favorecer aquellas acciones cuyo cociente de beneficio (bruto)/costo sea mayor y descartar las alternativas en que la diferencia entre beneficio bruto y costo sea negativa. El caso del análisis de costo de oportunidad constituye una situación especial, ya que la comparación beneficio – costo realizada es una comparación cruzada: se compara al beneficio generado por una línea de acción con aquél que sería generado por otra línea de acción que requiriera consumir los mismos recursos. Puede entenderse, entonces, que el costo de oportunidad es básicamente un ‘beneficio que no será obtenido’. El costo de oportunidad corresponde al beneficio potencial asociado a una alternativa de acción beneficiosa que deberá ser descartada en favor de una línea de acción principal elegida, cuya ventaja se presume es la mejor. Todas las alternativas cuya ventaja sea presumiblemente menor a la acción principal elegida serán incluidas en una lista ordinal, la que estará encabezada por una alternativa “segunda mejor” a la que seguirán la “tercera mejor”, la “cuarta mejor” y así sucesivamente. El costo de oportunidad es el beneficio

que genera la alternativa “segunda mejor”. En tal sentido, una vez que se compara minuciosamente el beneficio de la línea principal elegida y el de la segunda mejor, se espera que el primero sea mayor que el segundo. De ocurrir lo opuesto, se establece base para rechazar la adopción de la línea previamente elegida a favor de la segunda.

#### **4.2 Ejemplo.**

Se puede mencionar como ejemplo si un ganadero dispone de un terreno que podría ser alquilado en Q.10,000/Ha, a un agricultor vecino para la siembra de maíz. Es decir el ganadero opta por sembrar pasto para engordar ganado. Otro ejemplo se puede mencionar que si un economista, recibe un obsequio en la forma de un certificado que debe cambiar sea por un paquete A, consistente en 100 acciones de una compañía química o por un paquete B, consistente en 100 acciones de una compañía IT (de tecnología de la información), usando un recurso único (el certificado), el economista debe realizar una elección entre las dos alternativas. Si, para el caso, el paquete de acciones de la compañía química tiene un rendimiento proyectado de 10,000 dólares, y el paquete IT tiene un rendimiento de 7,500 dólares, el economista elegirá el paquete químico, por ser más rentable. El valor de la elección del economista es 10,000 dólares, mientras que el valor de la opción descartada es 7,500. El costo de oportunidad (o sea el valor de la oportunidad desestimada) es 7,500 dólares. Puede así decirse que el beneficio neto cruzado del economista al tomar la opción A es 2,500 dólares. El costo de oportunidad se dijo que es el beneficio que se deja de percibir como alquiler al optar por la siembra de pasto en el primer ejemplo, y que equivale a Q. 10,000/Ha. Este nuevo concepto de costo debe ser tomado en cuenta al calcular que el ganado no permite cubrir este costo y mostrar un beneficio adicional se puede deducir que esta alternativa no representa el óptimo uso de recursos. Dado que muchas decisiones que se toman en la vida cotidiana se basan en resultados provenientes del análisis de costos de

oportunidad de diferentes opciones. Se puede mencionar otro ejemplo: el trabajo de pintar una casa puede realizarlo directamente el dueño o contratar un pintor. En el primer caso, si el dueño debe ausentarse de su empleo, evaluará la reducción de salario que esto implica. Suponiendo que en ambos casos la calidad del trabajo sea igual, la decisión económica debe basarse en la comparación entre la cantidad de dinero que implica ausentarse del trabajo y el costo de contratar un pintor.

El salario sacrificado representa el costo de oportunidad al usar la propia mano de obra. Por esto, si el salario del dueño es muy alto, es probable que sería recomendable contratar un pintor, pero si el dueño se encuentra sin empleo, es preferible hacer el trabajo personalmente porque su costo de oportunidad sería muy bajo o cero. Así es fácil mencionar otros ejemplos como el autoconsumo de alimentos producidos en la finca, el uso de mano de obra familiar y el uso sub-óptimo de la maquinaria, etc. La mayoría de los productores frecuentemente no toman en cuenta los costos de oportunidad de estos recursos. Esto es un grave error porque lleva a decisiones erróneas en cuanto al manejo de los recursos.

La norma básica de manejo es que cada recurso que se utiliza en un sistema de producción debe ser usado en la forma más eficiente posible. Por cumplir esto a nivel del sistema es muy complejo debido a las fuertes interacciones entre los diversos componentes del sistema, y el recurso dinero que casi siempre es la principal restricción. Esta problemática se puede imaginar así: ¿Cuál es la mejor manera de gastar Q. 100, en fertilizante, vacunas, herbicidas, alambre, mano de obra, etc.? Para responder habrá que calcular, para cada opción de uso de este dinero que no es elegida, el beneficio que se deja de percibir para compararlo con las otras alternativas.

### 4.3 La oportunidad para VDSL comercial.

Entonces, para VDSL, se debe preguntar lo siguiente: los recursos de downstream y upstream elevados serán óptimos para la producción y el manejo de la empresa de la cual está usando esta tecnología. Es decir para una empresa de software, o de cualquier tipo de servicios en red, o de producción y ventas, o también un usuario, se debe preguntar si sería excesiva la cantidad de ancho de banda disponible en VDSL, aunque existe el adagio informático que propone que nunca se tiene suficiente ancho de banda, no se puede limitar este estudio a este dicho. Entonces, realmente es necesario cambiar o mudarse de tecnología entre ADSL y VDSL.

Ejemplificando, en una empresa de servicios a usuarios de un producto de software llamada Consul Software Support (donde laboro), se realizó este estudio, y los componentes serían los siguientes, siendo un usuario de VDSL:

*Splitter VDSL:* comparado con un splitter ADSL normalmente tiene un precio de +/- \$80.00 de esta manera, para la empresa mencionada. Dado que ADSL provee muy poco ancho de banda para upstream, existen servicios de poseer acceso remoto a la PC del cliente, por ejemplo, WeBeX, que es una forma de enseñanza remot. Por lo cual, este tipo de servicios necesita tanto alto ancho de banda para upstream como para downstream. De esta manera el costo de oportunidad sería cuánto se pagaría de más teniendo servicios VDSL contra ADSL, donde la ganancia de la empresa sería proveer un mejor servicio al cliente, facilidad de acceso y alta velocidad al servicio (cosa que no sucede teniendo un T-1).

Aunque se debe considerar la demanda y la oferta del servicio que se proveería por VDSL, el cual aporta a la empresa o al suscriptor, los tres servicios básicos y muchos más dado su alto ancho de banda. La implementación de nuevas tecnologías para servicio, como por ejemplo en vez de tratar con clientes de manera telefónica, se podría usar VoIP, VoDSL

y otras tecnologías nacientes que necesitan la popularización para proveer el último estándar para las telecomunicaciones, y donde no se puede tener mejor oferta que la siguiente: un mundo globalizado. Dado que la globalización es un hecho que se vive más fervientemente día a día, la oportunidad para la creación de negocios remotos, las ideas y la imaginación serán las oportunidades para establecer un comercio internacional, donde tener clientes del otro lado del globo terráqueo no suena irracional.

Entonces, también se puede mencionar el hecho del costo de oportunidad para las empresas telefónicas, la oportunidad de vencer la disputa de cable MODEM al proveer conexiones inimaginables para nuestro país, donde todavía reinan conexiones de Kbps, y aun servicios de integración de los servicios básicos que no se pueden alcanzar, lo que vendría a tener remedio con la instalación de equipo, infraestructura, implementación y los costos de mercado que supone el mudarse a nuevos y mejores servicios. En un país como Guatemala aun no se puede mencionar como un costo de oportunidad alto, dado que el número de abonados, la educación y la popularización de los servicios basados en la red mundial aun se encuentra en vías de desarrollo, (así como su economía), pero no se puede dejar de pensar que futuramente y con mejor suerte, estos estándares de banda ancha, y la instalación de DSLAM cercanos para obtener completo el ancho de banda VDSL, no pueda sonar una idea descabellada. Entonces, para una empresa de telefonía, se supone el costo de oportunidad, lo que deja de ganar en mantener sus suscriptores comunes, en anchos de banda decentes pero no óptimos, a la idea de proveer los tres servicios básicos, y así conjuntar toda una cuota para la misma empresa. Así como BELGACOM que ofrece 9Mbps de descarga y 400Khz de carga de datos, a una cuota mensual de 60euros al mes, hecho que da a pensar que VDSL, aun no tiene el precio óptimo para su masificación y no posee aun el ancho de banda prometido de diseño, y con un precio tan alto es difícil la masificación del servicio, por lo que entra el costo de oportunidad para las compañías telefónicas para

invertir en infraestructura y equipos para proveer el ancho de banda óptimo y a un precio accesible.

*“La tecnología está cambiando el poder lejos de los editores, los publicistas, los establecimientos, la elite de multimedia. Ahora es la gente la que está tomando el control.” –Rupert Murdoch.*

## CAPÍTULO V

### 5. EL FUTURO DE VDSL

#### 5.1 Descripción

Dada la popularización de los televisores Plasma y LCD, el uso y la implementación de HDTV es inminente, y dado el hecho que las compañías de CATV no pueden tener el despliegue de fibra óptica que es necesario para la implementación de esta tecnología, es necesario que se utilice una tecnología capaz de proveer varios canales de HDTV, así como empresas como Telefónica, España; KPN, Holanda y Belgacom, Bélgica, proveen VDSL con varios canales para HDTV. Además de la popularización de VOD, IPTV, VoIP, y otras muchas aplicaciones de nueva generación, es inminente el despliegue de fibra óptica hacia el hogar, un servicio que ya se ha instalado en Inglaterra, el llamado proyecto Shoreditch, que provee a este pueblo del norte de Londres una conexión de 2Gbps, mediante la instalación de un STB que combina funciones de Internet, datos y video, lo que hace pensar que VDSL es una tecnología que resuelve el tema de conexión por pocos años, para proveer los tres servicios básicos, pero que ante un inminente despliegue de conexiones de fibra óptica hace pensar que VDSL no será durable por mucho tiempo.

#### 5.2 Proyecciones de FTTH

Como se había mencionado anteriormente, con el proyecto Shoreditch que provee hasta 2Gbps a un usuario de hogar, permite pensar que el despliegue de fibra óptica es inminente para los años venideros no lejanos, y ante la investigación, implementación y despliegue que comienza, es importante adentrar en lo que puede llegar a ser esta tecnología.

Así como Telefónica ha realizado pruebas de FTTH del abonado en Pozuelo de Alarcón y Campamento (ambos en Madrid), los resultados han sido muy satisfactorios: 50 Mbps en distancias de hasta 20Km, entonces se prevé que a finales del 2007, en España, esté funcionando esta tecnología.

FTTH es un sistema de telecomunicaciones de banda ancha basado en cableado de fibra óptica y electrónica óptica para proveer los tres servicios básicos que se han mencionado anteriormente, voz, datos y video. Con un mercado de equipos, cableado y dispositivos, se ha calculado que el mercado para FTTH para el 2009 será de 3.2billones de dólares.

Existen dos tecnologías FTTH, las arquitecturas Active Ethernet, (Ethernet activo) y PON.

Las redes Ethernet activo utilizan equipo electrónico en los vecindarios, usualmente un gabinete por cada 400-500 usuarios, estos gabinetes ejecutan switcheo y ruteo de las capas 2 y 3 del modelo TCP/IP OSI, al llevar el ruteo de la capa de Internet a la oficina central del carrier. El estándar IEEE 802.3ah habilita el servicio a los proveedores para proporcionar más de 100Mbps en modo full-dúplex sobre una fibra monomodo hacia el usuario. Como ejemplos de algunos proveedores de este servicio que usa dicha arquitectura están: YRT2.net, SureWest, iProvo, Grant County, Washington, UTOPIA, y Broadweave Networks.

Las redes FTTP que usan PON, no efectúan la instalación de equipos electrónicos en el campo, mas bien utilizan splitters pasivos para distribuir fibra individual a los hogares. Una fibra óptica puede ser dividida en 16, 32 ó 64 fibras, dependiendo en el fabricante, que distribuye fibra hacia los hogares. En esta arquitectura, el switcheo y el ruteo se hace en la oficina central del proveedor o carrier, y se pueden mencionar algunas compañías que utilizan esta arquitectura: Verizon (FiOS), AT&T (U-Verse). Entonces las señales ópticas, una vez se han recibido en el hogar, son procesadas por una tecnología de filtros de película delgada, o más recientemente por unos

puentes de dispersión plana para una tecnología de onda de luz, así la señal puede ser ruteada apropiadamente hacia el componente en el hogar.

## CAPITULO VI

### 6. MÉTODOS DE MODULACIÓN PARA VDSL

#### 6.1 Descripción de Modulación.

Es importante empezar con un análisis profundo de cómo se empezó la idea de multiplexación para el provecho del ancho de banda del canal donde se utiliza un espectro de frecuencias, por las cuales se transmitirán ondas senoidales para la transmisión digital de pulsos. Estos deben ser interpretados para el proceso de recolección de información.

Primero, se sabe que el oído humano es capaz de oír sonidos de 0Khz a 20Khz, pero en una conversación normal se puede limitar a sonidos de 0.3 a 3.4 Khz, lo que genera un ancho de banda de 4Khz, pero para digitalizar la voz, se debe hacer un muestreo en valores discretos de pequeñas porciones de la onda senoidal de la voz, y luego se utilizan los siguientes algoritmos de compresión de voz.

#### 6.2 Algoritmos de compresión de voz.

1. *Ley A*: este algoritmo es un estándar de compresión, término que se refiere en telecomunicaciones y proceso de señales, al método de reducir los efectos del canal cuando este tiene un rango dinámico limitado, y se usa en sistemas digitales para compresión en la entrada de un convertidor análogo-digital, y luego expandible en un convertidor digital-análogo, en un sistema que implementa la ley A como algoritmo de compresión.

El algoritmo ley A es usado en Europa para optimizar las comunicaciones digitales, y así mejorar el rango dinámico para digitalizar una señal análoga, y funciona de la siguiente manera:

Para una entrada  $x$ , la ecuación de codificación para la ley A es:

Donde  $A$  es el parámetro de compresión, y en Europa se utiliza el valor  $A=87.7$

$$F(x) = \text{sgn}(x) \begin{cases} \frac{A|x|}{1+\ln(A)}, & |x| < \frac{1}{A} \\ \frac{1+\ln(A|x|)}{1+\ln(A)}, & \frac{1}{A} \leq |x| \leq 1 \end{cases}$$

La expansión para la ley A utiliza la siguiente función

inversa:

$$F^{-1}(y) = \text{sgn}(y) \begin{cases} \frac{|y|(1+\ln(A))}{A}, & |y| < \frac{1}{1+\ln(A)} \\ \frac{\exp(|y|(1+\ln(A))-1)}{A}, & \frac{1}{1+\ln(A)} \leq |y| < 1 \end{cases}$$

La codificación ley A codifica eficientemente para reducir el rango dinámico de la señal, así se incrementa la eficiencia de la codificación y un resultado de relación de señal a ruido, que es superior al obtenido por la codificación lineal para un número dado de bits.

Otro algoritmo es la *ley  $\mu$* , que es el estándar americano y Japonés de codificación, y se pueden comparar de manera que se sabe que el algoritmo ley A provee un poco mejor rango dinámico que la ley  $\mu$ , al costo de proveer peor distorsión para señales pequeñas. Por convención, la ley A es utilizada para conexiones internacionales, y la mayoría de los países la usan; pero en Guatemala sólo se utiliza el companding de ley A para la modulación de PCM.

Luego de esta codificación, se tiene la modulación por codificación de pulso (PCM), que cuantifica por los niveles establecidos por la ley A, al asignar un valor de 0 a 255 bits digitales, donde se tienen 8 bits por código. Entonces, al tener un ancho de banda de 4Khz, por el teorema de Nyquist, el cual propone que para un muestreo de señales digitales, se deben tomar muestras del doble del ancho de banda de la señal, en este caso se harían muestreos con un reloj de 8Khz. Dado que se tienen 8Khz, y 8 bits por símbolo, el reloj sería de 8,000 muestras por segundo, que al multiplicarlas, nos darían 64Kbps, que es el ancho de banda para BRI ISDN. Si requiere mayor ancho de banda, puede multiplexar este canal en varios sub-canales, de manera que para tener un E-1 se multiplexan 32 canales de 64Kbps, el cual daría un ancho de banda de 2.048Mbps, y al seguir con esta multiplexación, se tienen estándares STM.

Dado el precio y los recursos que se requieren para una conexión de estos valores, es importante buscar la solución para que los suscriptores digitales de línea telefónica. Entonces se necesita una nueva tecnología tanto de multiplexación como de acceso, por eso se investigó, y se creó la tecnología de modulación multi-portadora (MCM), para poder proveer el ancho de banda necesario para la integración de las tres tecnologías, tanto para datos, voz y telefonía, de manera que 52Mbps no sea una fantasía para suscriptores digitales de línea, por lo que a continuación se detallan las características de MCM.

### **6.3 Modulación multi-portadora.**

#### **6.3.1 Características de MCM**

1. Dado el estudio, investigación e implementación de ICs para VDSL, es necesario verificar el cumplimiento óptimo de estos sistemas para el funcionamiento para MCM. Así, por ejemplo, el cumplimiento de requerimientos tanto de cuerpos de estandarización como ETSI y ANSI, para VDSL, en donde muchas soluciones se han propuesto tanto para MCM

como para SCM (modulación por una sola portadora) , en los cuales se requiere el soporte de tasas de transmisión específicas en rangos de distancia específicos, se provee resistencia a la interferencia y el ruido, así como minimizar el consumo de potencia. Así que la solución para ICs se ha propuesto para modulación por un solo carrier con QAM, y DMT para MCM, en donde DMT cumple con los requerimientos de una forma más eficiente para VDSL. DMT provee un desempeño casi óptimo en todos los canales, sobrepone problemas inherentes de la línea y opera exitosamente aun cuando en ciertas regiones de frecuencia estén afectados por ruido severo. DMT es resistente al ingreso de RF, se adapta a cambios de canal y a condiciones de ruido, soporta todas las tasas de bits, supera el egreso de RF para bandas aficionadas, cumple con el objetivo del consumo de potencia establecido en 1.5W y provee compatibilidad espectral con otros servicios de DSL. Puede tener también interoperabilidad con ADSL, razón por la cual empresas como Alcatel o Texas Instruments han optado por la implementación de DMT como solución de modulación para VDSL.

2. *Modulación multi-portadora vrs. modulación de portadora-simple:* en SCM una trama de bits es codificada en símbolos por medio de un mapeo de conjuntos de bits consecutivos en constelaciones de puntos. Estos puntos son modulados, filtrados y transmitidos a través de un ancho de banda para el canal que está definido, pero cuando el canal distorsiona la señal, al causar interferencia entre símbolos ISI, donde el receptor, por un ecualizador reduce esta interferencia de símbolos. También puede crear errores que se han propagado, con un resultado negativo para el impacto del desempeño de la transmisión. Al contrario en MCM un canal es segmentado en un número de sub-canales, cada uno caracterizado por una tasa de señal a ruido (SNR). El SNR es medido para cada canal cuando una conexión se ha establecido y monitoreado hasta que la conexión termina. Como el canal y las condiciones de ruido cambien y algunos sub-canales se degraden, un sistema basado en DMT puede mantener alto desempeño para redistribuir la data hacia otros sub-canales. Además, no tiene propagación de errores en

el receptor porque en contraste con SCM, el detector de errores no afecta la forma como las transmisiones futuras sean decodificadas.

3. *Desempeño: teoría contra realidad*; en realidad para DMT, los subcanales a frecuencias que no puede soportar los datos, simplemente son apagados, en cambio SCM debe soportar un número infinito de tasas de muestreo y proveer los filtros adecuados para contener la data en la banda de frecuencia correcta, aunque los dos métodos son muy complejos de implementar por costos y por ataduras de potencia.
4. *Operación en canales difíciles*: para reducir costos, SCM utiliza ecualizadores con filtros poco complejos, filtros que no operan bien en canales que tienen desviaciones significativas en sus pérdidas de inserción, así como líneas paralelas en líneas telefónicas, que al contrario DMT opera eficientemente en estos canales, debido a las particiones de subcanales, los cuales si supera el rango de SNR son apagados, y la información es colocada en otros subcanales.
5. *Resistencia al ingreso de ruido*: un sistema VDSL debe ser capaz de mitigar los efectos de ruido impredecible por fuentes de ruido como RF, AM y transmisiones de radio amateur, por eso en el sistema QAM provee una resistencia muy apegada a lo largo de uno de sus filtros del sistema ecualizador, el cual debe identificar las localidades donde todas las señales RF interfieren y generan una muesca a esa frecuencia que muestrea para evitar la probabilidad de propagación de errores. Este mismo filtro del sistema ecualizador puede proveer errores. En un sistema DMT, el ingreso de RF es mitigado, en parte, debido a que el canal es segmentado, y aquellos canales que superen lo que se puede soportar de ruido, simplemente se apagan, y si son demasiados los subcanales que se tienen que apagar, se puede aplicar una ventana, la cual puede reflejar algunos subcanales para que absorban la mayoría del ruido.
6. *Generación de ruido*: para evitar interferencia con las bandas de radio, los sistemas de VDSL deben cumplir con algunos requerimientos para suprimir el ruido causado por la señal de VDSL. Los sistemas QAM usan

filtros muy complejos o múltiples señales con múltiples transmisores y receptores para cada filtro. Ambas soluciones son muy difíciles para diseñar, implementar y operar. Los sistemas DMT tienen alto control sobre el espectro de potencia y como resultado cumplen mejor con los requerimientos de ruido necesarios para evitar interferencia, es decir cualquier subcanal que sobrepase el nivel de bandas de radio, deberá ser apagado.

7. *Consumo de potencia:* Dado que un sistema QAM transmite data en una banda mucho mayor a un subcanal DMT, un sistema QAM soporta sólo una granularidad gruesa en las tasas de bits. Si una tasa de data recae sobre dos tasas posibles, el sistema QAM utiliza el canal mayor, lo que puede ocasionar desperdicio de ancho de banda. Además, mediante la implementación del chip TNETD8000 se puede tener un consumo de potencia menor a 1Watt, que en comparación a un sistema QAM, que consume hasta 2.5Watts.
8. *Interoperabilidad con ADSL:* Dado que ADSL también funciona con DMT, es posible tener compatibilidad con esta tecnología.

## 6.5 DMT

### 6.5.1 Características.

Del inglés Discrete multi-tone, que es un tono múltiple, es decir distribuido y discreto. Tiene valores específicos y funciona al segmentar una señal en varios subcanales, 4095 canales de 4-kHz cada uno, los cuales son monitoreados. Para el momento de establecer una conexión, se hace una medición de cada sub-canal, y se describe un SNR, que es una tasa de

señal a ruido, la cual establece qué tanto afectará el ruido a la señal. En varios estándares se tiene un SNR específico, y cuando un sub-canal supera este valor, es apagado.

Básicamente consiste en el empleo de múltiples portadoras y no sólo una, que es lo que se hace en los módems de banda de voz. Cada una de estas portadoras (denominadas subportadoras) es modulada en cuadratura (modulación QAM) por una parte del flujo total de datos que se van a transmitir. Estas subportadoras están separadas entre sí 4,3125 KHz, y el ancho de banda que ocupa cada subportadora modulada es de 4 KHz.

### **6.5.2 Modulación QAM para sub-portadoras**

Esta modulación sirve por medio de la generación de constelaciones, es decir que a una señal se le harían desfases de múltiplos de 90grados y también se modularía la amplitud de esta señal, para establecer las constelaciones, es decir según el número de bits que se utilicen en estas constelaciones, así será el número de muestreos que se deberán establecer. Por ejemplo, en una señal que se transmite a 3600bps, o 3 bits por baudio, se puede representar 8 combinaciones binarias.

Al usar dos medidas de amplitud, se pueden también tener 4 cambios de fase, entonces se pueden tener 8 posibles señales que se pueden enviar, al conformar así las anteriormente mencionadas constelaciones QAM. Entonces, lo que se hace es generar una tabla que muestre las señales que correspondan a cada combinación binaria, esto se puede hacer aleatoriamente, pero algunos fabricantes de módems se basan en estándares.

<b>Valor de bit</b>	<b>Amplitud</b>	<b>Cambio de Fase</b>
---------------------	-----------------	-----------------------

000	1	Sin cambio
001	2	Sin cambio
010	1	1/4
011	2	1/4
100	1	1/2
101	2	1/2
110	1	3/4
111	2	3/4

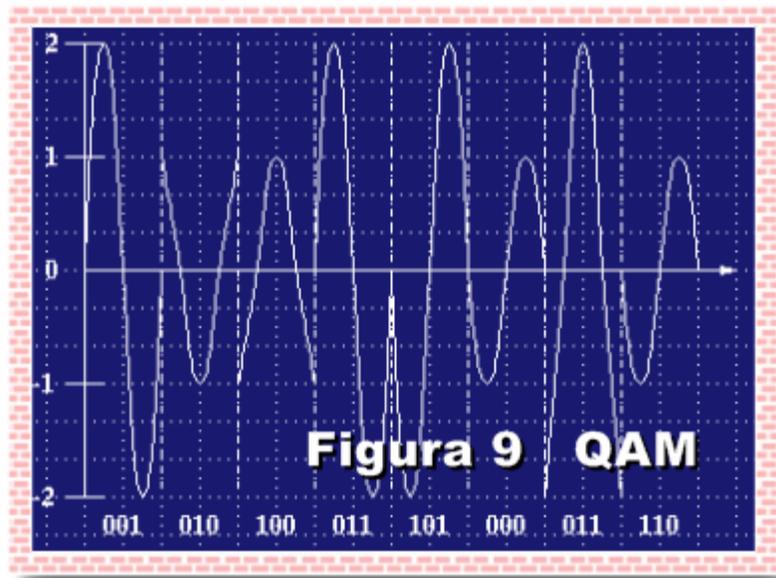
Entonces, si se quiere codificar una trama de bits como esta:

0010101000111010000111110

Primero se rompen en triadas:

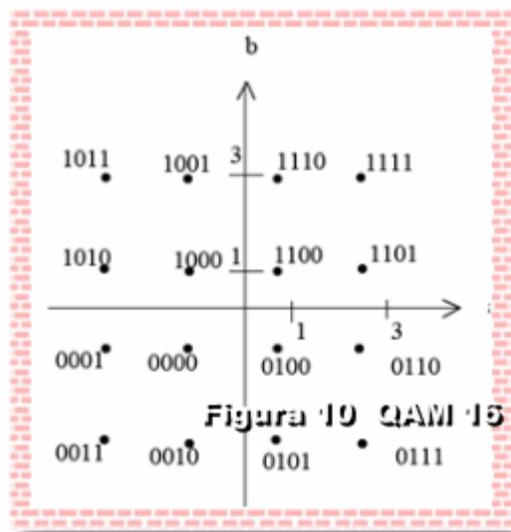
001-010-100-011-101-000-011-110

Luego se generaría una señal, como la siguiente:



Esta es una de las técnicas de generación de constelaciones QAM, cuando se desean hacer constelaciones como por ejemplo para 28.8Kbps, se utilizarían 24 bits por baudio.

En el siguiente ejemplo se muestra una constelación QAM 16



El reparto del flujo de datos entre subportadoras se efectúa en función de la estimación de la relación Señal/Ruido en la banda asignada a cada una de ellas. Cuanto mayor es esta relación, tanto mayor es el caudal que puede transmitir por una subportadora. Esta estimación de la relación Señal/Ruido se hace al comienzo, cuando se establece el enlace entre el VTU-R y el VTU-C, por medio de una secuencia de entrenamiento predefinida. La técnica de modulación usada es la misma, tanto en el VTU-R como en el VTU-C. La única diferencia estriba en que el VTU-C dispone de hasta 256 subportadoras, mientras que el VTU-R sólo puede usar como máximo de 32. La modulación parece y realmente es bastante complicada, pero el algoritmo de modulación se traduce en una IFFT en el modulador, y en una FFT en el demodulador situado al otro lado del circuito de DSL. Estas operaciones se pueden efectuar fácilmente si el núcleo del módem se desarrolla sobre un DSP. Se puede usar también un FPGA para crear un sistema abierto, con mejor Time to market, pero con delay, mayor y menor capacidad de procesamiento.

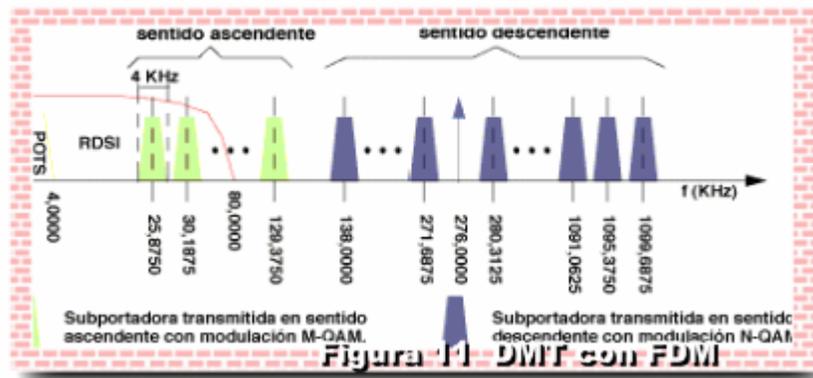
Como se puede comprobar, la modulación DMT empleada realmente es bastante complicada, pero el algoritmo de modulación se traduce en una IFFT en el modulador, y en una FFT en el demodulador situado al otro lado del bucle. Estas operaciones se pueden efectuar fácilmente si el núcleo del módem se desarrolla sobre un DSP.

- El modulador del VTU-C, hace una IFFT de 512 muestras sobre el flujo de datos que se ha de enviar en sentido descendente.
- El modulador del VTU-R, hace una IFFT de 64 muestras sobre el flujo de datos que se ha de enviar en sentido ascendente.
- El demodulador del VTU-C, hace una FFT de 64 muestras tomadas de la señal "upstream" que recibe.

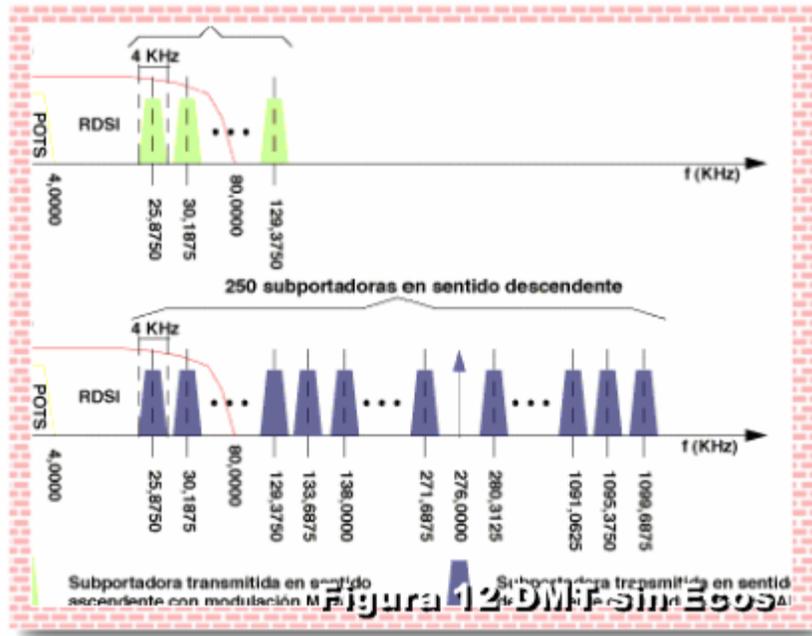
- El demodulador del VTU-R, hace una FFT, sobre 512 muestras de la señal ascendente recibida.

Existen dos modalidades para VDSL con modulación DMT: FDM y cancelación de ecos. En la primera, los espectros de las señales ascendente y descendente no se solapan, lo que simplifica el diseño de los módems, aunque reduce la capacidad de transmisión en sentido descendente, no tanto por el menor número de subportadoras disponibles como por el hecho de que las de menor frecuencia, aquéllas para las que la atenuación del par de cobre es menor, no están disponibles. La segunda modalidad, basada en un cancelador de ecos para la separación de las señales correspondientes a los dos sentidos de transmisión, permite mayores caudales a costa de una mayor complejidad en el diseño.

En la siguiente figura se muestra la modulación DMT con FDM.



Y en la siguiente figura se muestra la modulación DMT con cancelación de ecos.



Se muestran los espectros de las señales transmitidas por los módems VDSL, tanto en sentido ascendente como descendente. Como se puede ver, los espectros nunca se cubren con la banda reservada para el servicio telefónico básico (POTS), en cambio sí se cubren con los correspondientes al acceso básico ISDN. Por ello el VDSL y el acceso básico ISDN son incompatibles.

En un par de cobre la atenuación por unidad de longitud aumenta, a medida que se incrementa la frecuencia de las señales transmitidas. Y cuanto mayor es la longitud del bucle, tanto mayor es la atenuación total que sufren las señales transmitidas. Ambas cosas explican que el caudal máximo que se puede conseguir mediante los módems VDSL varíe en función de la longitud del circuito de abonado. La presencia de ruido externo provoca la reducción de la relación Señal/Ruido con la que trabaja cada una de las subportadoras. Esa disminución se traduce en una reducción de la tasa de transmisión de datos que modula a cada subportadora, lo que a su

vez implica una reducción de la tasa de transmisión total, que se puede transmitir a través del enlace entre el VTU-R y el VTU-C.

Hasta una distancia de 1 Km de la central, en presencia de ruido (caso peor), se obtiene una tasa de transmisión de 52Mbps en sentido descendente. Esto supone que en la práctica, teniendo en cuenta la longitud media del circuito de abonado en las zonas urbanas, la mayor parte de los usuarios están en condiciones de recibir por medio del VDSL una tasa de transmisión superior a los 26 Mbps. Esta tasa es suficiente para muchos servicios de banda ancha, y desde luego puede satisfacer las necesidades de cualquier internauta, teletrabajador, así como de muchas empresas pequeñas y medianas.

## **6.6 Control de Errores.**

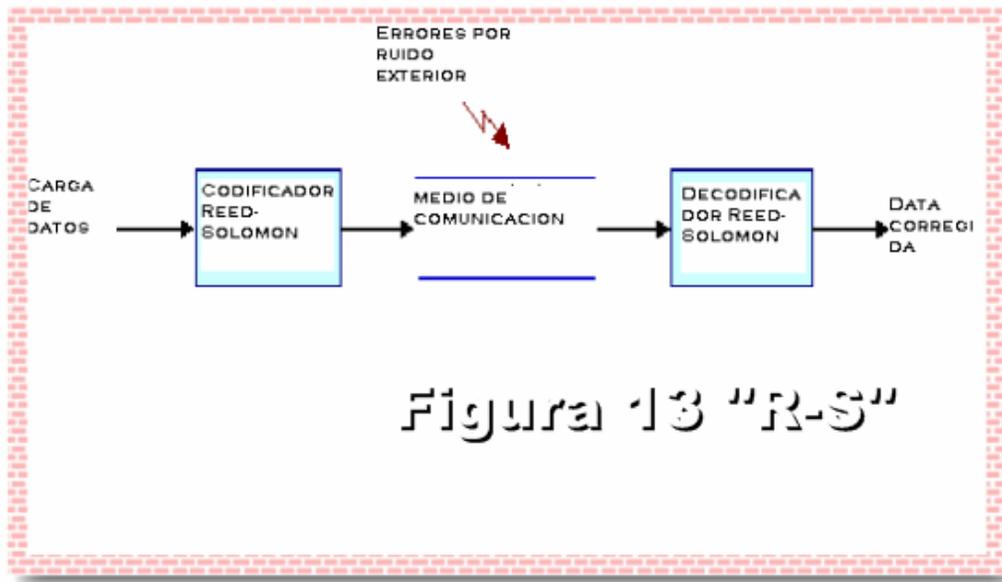
### **6.6.1 Reed-Solomon: características.**

VDSL utiliza la codificación Reed-Solomon para el control de errores, y son códigos que sirven para corregir errores en un rango amplio de aplicaciones en comunicaciones digitales y en almacenamiento, como por ejemplo en sistemas como:

- Dispositivos de almacenamiento (cassetes, CD, DVD, etc).
- Comunicaciones inalámbricas o móviles (celdas microonda, teléfonos celulares).
- Comunicaciones satelitales.
- Televisión Digital o DVB.
- Módems de alta velocidad, como el de VDSL.

Este sistema Reed-Solomon fué prueba por primera vez en Guatemala, en el año de 1988, como parte de una mejora de COMSAT para Telgua.

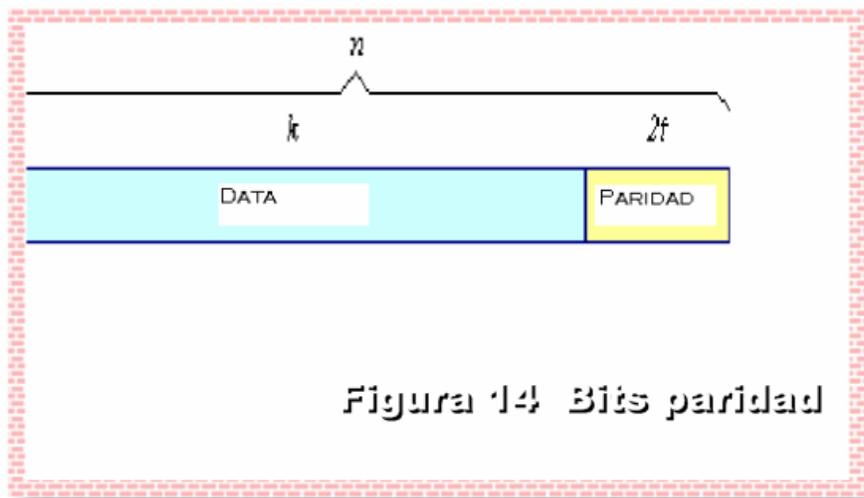
En la siguiente figura se puede ver un sistema Reed-Solomon típico:



El codificador toma un bloque digital de data y añade unos bits extra de redundancia. Dado que ocurren errores durante la transmisión o el almacenamiento, por muchas razones como ruido blanco en telecomunicaciones, o rayones en un CD, etc. El decodificador Reed-Solomon procesa cada bloque y trata de corregir errores y así recuperar la data original. El número y el tipo de errores que se pueden corregir depende de las características del código Reed-Solomon.

## 6.6.2 Propiedades de los Códigos Reed-Solomon

Los códigos Reed-Solomon son derivados de los Códigos BCH (por Bose, Ray-Chaudhuri, Hocquenghem), y son códigos de bloques lineales, especificados como  $RS(n,k)$  con  $S$  bits. Esto significa que el codificador toma  $k$  símbolos de data de  $S$  bits cada uno, y añade símbolos de paridad para hacer una palabra con  $n$  símbolos. Hay  $n-k$  símbolos de paridad para  $S$  bits cada uno. Un codificador Reed-Solomon puede corregir hasta  $t$  símbolos que contengan errores en un código, donde  $2t=n-k$ . En la siguiente gráfica se puede ver cómo es un código Reed-Solomon, que también se conoce como un código sistemático debido a que la data del lado izquierdo no se cambia, y se añaden símbolos de paridad.



Por ejemplo, un código Reed-Solomon popular es el  $RS(255,223)$  con 8 bits de símbolos. Cada código contiene 255 bytes, de los cuales 223 son data y 32 bytes son de paridad. Para este código,  $n=255$ ,  $k=223$ ,  $s=8$  por lo que  $2t=32$ ,  $t=16$ .

Entonces el decodificador puede corregir cualquiera de los 16 símbolos de error en el código, es decir los errores en los 16 bytes en cualquier parte del código pueden ser automáticamente corregidos. Dado un tamaño  $S$  de símbolo, la máxima longitud del código es  $n=2^S - 1$ . Por

ejemplo, la máxima longitud para un código con 8 bits de símbolo, es 255 bytes. El porcentaje o la carga de potencia requerida para codificar y decodificar códigos Reed-Solomon está relacionado al número de símbolos de paridad por código. Un número grande de valores de  $t$  significa que un número grande de errores pueden ser corregidos pero requieren mayor potencia computacional.

Un error de símbolo ocurre cuando un bit en un símbolo es incorrecto o cuando todos los bits en un símbolo son incorrectos.

Por ejemplo, en un código RS(255,223) puede corregir 16 errores por símbolo. En el peor de los casos, 16 errores pueden ocurrir, cada uno en un símbolo separado, así que el decodificador corrige 16 errores. Estos códigos son particularmente bien exactos cuando ocurren errores que todas las series de bits en un código son recibidos en error. La decodificación Reed-Solomon puede corregir los errores, que ocurren cuando la posición de un símbolo erróneo es conocido. Un decodificador puede corregir más de  $t$  errores, y esta información de la posición del error puede ser proveída por el demodulador digital en el sistema de comunicaciones. En este caso en el Splitter VDSL, es decir estos mapean los símbolos recibidos y comúnmente reciben errores.

Cuando un código se decodifica, hay tres posibles resultados:

1. Si  $2S+r < 2t$  ( $s$  errores,  $r$  mapeos de errores), entonces el código transmitido originalmente siempre será recuperado. Y si no:
2. El decodificador detectará que no puede recuperar el código original e indicará este hecho. Aunque también:
3. El decodificador errara la decodificación y recuperará un código incorrecto sin indicación.

La probabilidad de cada una de estas tres posibilidades dependen del código Reed-Solomon en particular, y el número y la distribución de los errores.

La ventaja de usar los códigos Reed-Solomon es que la probabilidad de que un error permanezca en la data decodificada, es mucho menor que la probabilidad de cuándo no se utiliza estos decodificadores. Esta probabilidad comúnmente se describe como la ganancia de codificación.

Por ejemplo, en un sistema VDSL, modulado en DMT y un sub-canal modulado en constelación QAM, tiene que operar a un BER (bit error ratio), no mayor de 1 en 10Gbits recibidos en error. Esto puede lograrse mediante la codificación Reed-Solomon. Esta codificación permite que el sistema alcance su objetivo de BER con un transmisor de menor consumo de potencia. Esto es importante para la modulación DMT ya que anteriormente se había mencionado que se requiere un consumo menor de 1 watt para el transmisor del DSLAM. La potencia ahorrada mediante el uso de un código Reed-Solomon será la ganancia de codificación.

## CAPÍTULO VII

### 7. ESTUDIOS ECONÓMICOS PARA VDSL

#### 7.1 Reglamentación de la SIT

Estos estudios estarán regidos y controlados por la Ley General de Telecomunicaciones, artículo 171 literal a de la Constitución Política de la República de Guatemala, en la cual se menciona la creación del ente rector para la organización, estudio y control de las Telecomunicaciones de Guatemala, la cual se ha denominado SIT (Superintendencia de Telecomunicaciones), que menciona:

**ARTÍCULO 26. Interconexión.:** La interconexión de redes comerciales de telecomunicaciones será libremente negociada entre las partes, salvo lo indicado en el artículo 27 (mencionado a continuación). Ningún operador podrá interconectar equipos que ocasionen daño a equipos en uso.

Se entiende por interconexión, la función mediante la cual se asegura la operabilidad entre redes, de tal modo que se pueda cursar tráfico de telecomunicaciones entre ellas.

**ARTÍCULO 27. Recursos esenciales.** Para el propósito de esta ley, serán considerados como recursos esenciales solamente los siguientes:

- a) Terminación en la red de una de las partes, de telecomunicaciones originadas en cualquier otra red comercial.
- b) Transferencia de telecomunicaciones originadas en la red de una de las partes a cualquier otra red comercial de telecomunicaciones seleccionada por el usuario final, implícita o explícitamente.
- c) Señalización
- d) Datos necesarios para la facturación de los servicios prestados

Mencionado el entorno legal, a continuación se procede a efectuar los estudios.

## **7.2 Modelo de optimización de redes**

El propósito de este estudio que se desea realizar viene del hecho del ahorro de cableado. Para esta tecnología se aprovecha que el cableado ya ha sido realizado, (que es la naturaleza de esta familia de tecnologías). Entonces lo que se desea optimizar serán las locaciones de los DSLAM VDSL, ya que se cuenta con las instalaciones de fibra para ATM en forma de anillos. Se pretende por este estudio localizar cuáles serían las mejores posiciones de estos equipos, para que se aproveche el ancho de banda completo, y así no existan problemas de atenuación, los cuales se registran en el uso de longitudes no soportadas por VDSL. Es importante resaltar que en este estudio no se considerara ninguna instalación interna de cableado, ya que se estima que este trabajo será para el área corporativa de Guatemala. Se da por hecho que debe existir una instalación de PBX hecha, con lo cual se puede aprovechar este cableado para instalar el cableado para VDSL. (Es decir la canalización).

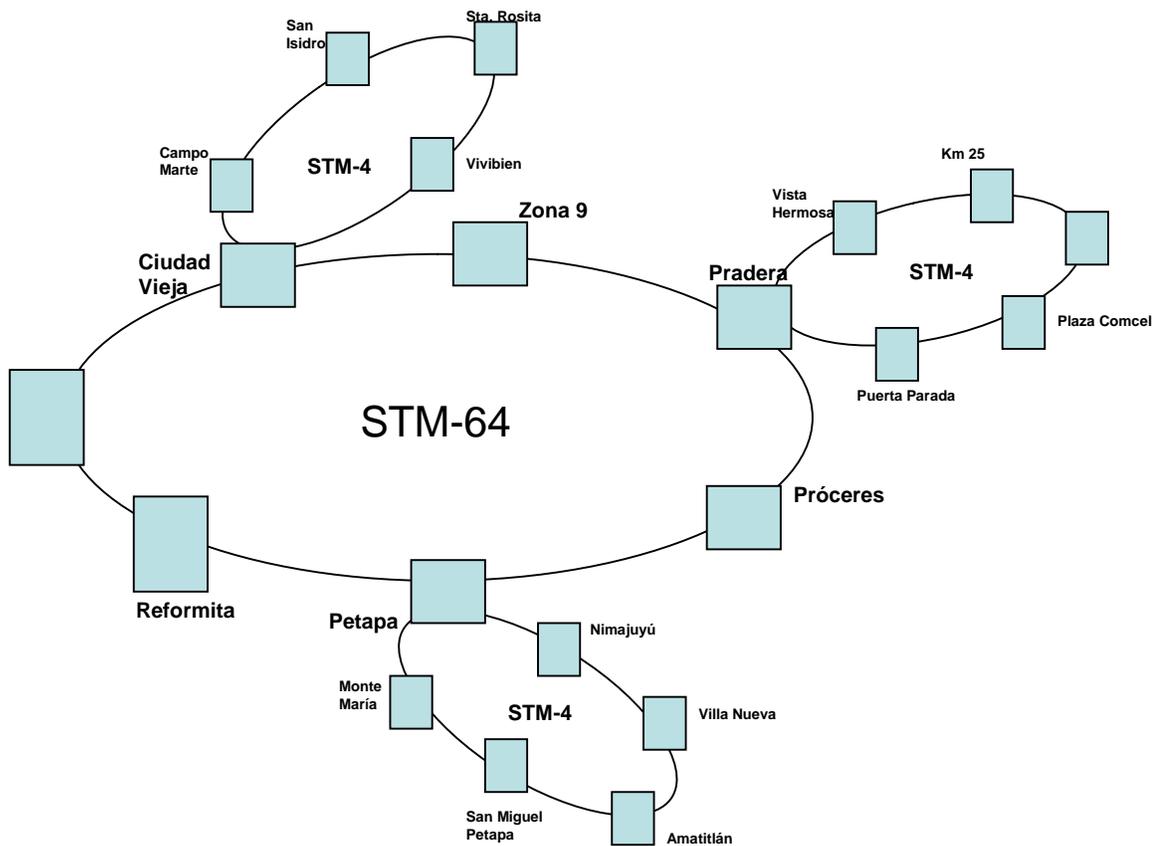
Cabe mencionar que este método sirve para diferentes aplicaciones como administración de recursos, planificación financiera, y para este estudio, localización de instalaciones. Este modelo de optimización, se basa en explotar la representación en red de una aplicación. En este caso una red VDSL, donde el flujo deberá ser el mismo para todos los nodos, ya que lo que se pretende es maximizar para minimizar, es decir aprovechar al máximo las instalaciones hechas y minimizar costos de implementación y optimizar el uso, desempeño y mantenimiento de esta tecnología.

## **7.2.1 Ejemplo de árboles de expansión**

### **7.2.1.1 Detalles**

Se debe comenzar por decir que es un problema de programación lineal, y que con la aparición de algunos algoritmos han tenido fuerte impacto en las ciencias de la computación. Cada día se vuelve una herramienta más fuerte, y lo que hace la representación en red esencial, es que, debido al flujo de bienes a través de distintas etapas, es posible representarlo gráficamente, para una administración optima de lo que se enviara de un lugar a otro. Como principal ejemplo de optimización de redes se tiene a la compañía petrolera CITGO, que ha logrado reducir su inventario en más de \$116 millones de dólares, sin disminuir los niveles de servicio. Lo que les ha generado un ahorro en los intereses anuales de \$14 millones de dólares y mejoras en las decisiones de coordinación, costeo y compra, equivalentes a otros \$2.5 millones de dolares anuales. Al notar esto se puede decir que con el modelo de optimizacion de redes se puede hacer que una empresa mejore sus ganancias de manera increíble.

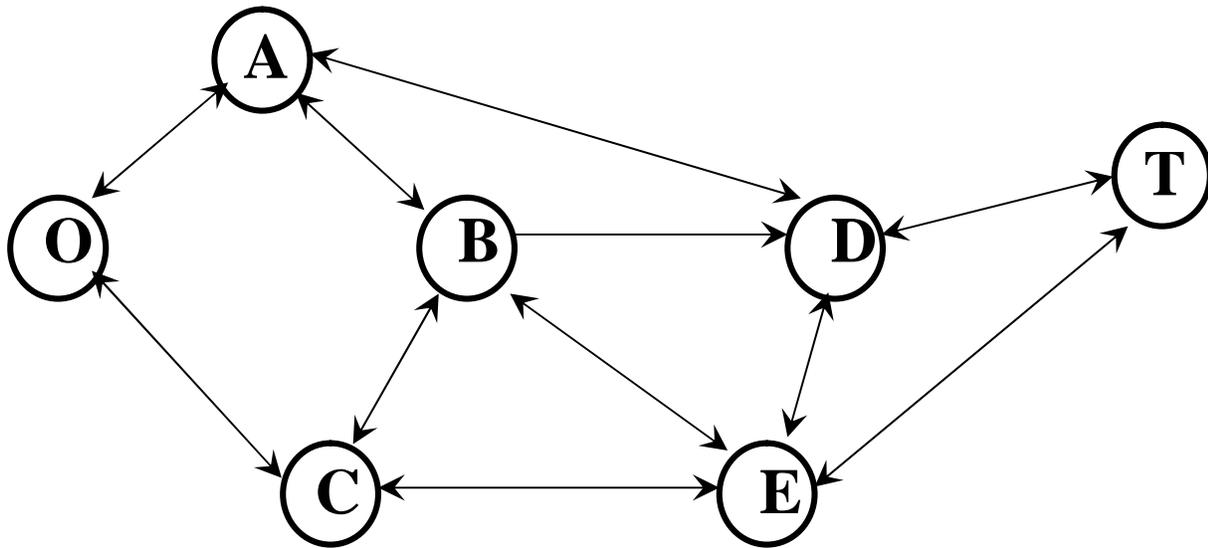
Entonces, para el modelo de método símplex de redes, se ha utilizado la siguiente topología de ATM en Guatemala:



De esta topología se basará este estudio, y se debe notar que el trabajo se basará en el anillo STM-64 para la zona 9, Pradera y Próceres. Entonces, se debe notar que partiendo de estas localidades, se procederá a expandir DSLAMs VDSL, teniendo en cuenta algunas localidades ya instaladas con ADSL. Al considerar las localidades de mayor actividad empresarial que serán soportadas, es decir el diseño basado en los lugares de mayor actividad corporativa. Entonces en donde entrará el estudio en auge es cuando se quiera saber en qué lugar funcionaría y sería factible instalar los DSLAMs VDSL. Pero para adentrar en el tema, es importante saber la terminología y los problemas previos al método símplex.

### 7.2.1.2 Terminología de redes.

**Una red** consiste en un conjunto de puntos y un conjunto de líneas que unen ciertos pares de puntos



#### **Nodos o vértices**

Son los puntos de los que partimos o a los que queremos llegar, como por ejemplo en la gráfica tenemos siete nodos etiquetados con las letras.

#### **Arcos, aristas o ramas**

Los arcos conectan parejas de nodos.

#### **Arcos Dirigidos**

Los arcos dirigidos conectan nodos en donde el flujo va en una sola dirección.

#### **Arcos no dirigidos (llamados también ligaduras)**

Los arcos no dirigidos nos permiten que el flujo vaya en ambas direcciones.

### **Red Dirigida**

Es donde todos sus arcos que conectan a los  $n$  nodos son dirigidos.

### **Red no dirigida**

Es la red donde todos sus arcos son no dirigidos, y se debe notar que la red no dirigida cumple con ser no dirigida, debido a que si la ligadura la colocamos como dos arcos en direcciones contrarias, se vuelve una red dirigida.

### **Trayectoria:**

Una trayectoria entre dos nodos es una sucesión de arcos distintos que conectan estos nodos. Existen trayectorias dirigidas y no dirigidas.

### **Ciclo**

Trayectoria que comienza y termina en el mismo nodo

### **Nodo conectado**

Se dice que dos nodos están conectados si la red contiene al menos una trayectoria no dirigida entre ellos.

### **Red Conexa**

Es una red en la que cada par de nodos está conectado.

## Árbol de Expansión

Es una red conexa que no contiene ciclos no dirigidos por lo cual para  $n$  nodos deberá haber  $n-1$  arcos.

En una red normalmente siempre hay un **nodo origen**, varios **nodos de transbordo** y un **nodo destino**.

## Flujo

Es la cantidad de costo o de contenido que pasa de un nodo a otro, y se debe notar que el flujo determinará la capacidad de arco entre dos nodos y en la red en sí.

## Ruta

Es la trayectoria que se toma desde un punto origen a un punto destino

Entonces, lo que se debe tener en cuenta antes de usar el método símplex de redes, es que se deben resolver 3 sub-problemas que ayudarán a elaborar el método símplex de redes. Estos son:

- § Problema de la Ruta más corta
- § Problema de Árbol de Expansión mínima
- § Problema de Flujo Máximo

Algoritmo de la ruta más corta

*Aplicaciones:*

- Minimizar la distancia recorrida de un origen a un destino.
- Minimizar costo en una secuencia de actividades.
- Minimizar el tiempo total de una secuencia de actividades.
- Encontrar ruta más corta desde un nodo a otro nodo de la red.

*Algoritmo:*

- *Objetivo de la n-esima iteración:* encontrar el n-esimo nodo más cercano al origen. (Este paso se repite hasta que el n-ésimo nodo más cercano sea el nodo destino).
- *Datos para la n-esima iteración:* n-1 nodos más cercanos al origen (encontrados en las iteraciones previas) incluida su ruta más corta y la distancia desde el origen. (son los llamados nodos resueltos)
- *Candidatos para el n-ésimo nodo más cercano:* cada nodo resuelto que tiene conexión directa por una ligadura con uno o más nodos no resueltos y proporciona un candidato y este es el nodo no resuelto que tiene la ligadura más corta. Luego se verá que con empates se tendrán candidatos adicionales.
- *Cálculo del n-ésimo nodo más cercano:* para cada nodo resuelto y sus candidatos, se suma la distancia entre ellos y la distancia de la ruta más corta desde el origen a este nodo resuelto. El candidato con la distancia total más pequeña es el n-ésimo nodo más cercano, y su ruta mas corta es la que genera esta distancia.

Luego se debe buscar que para hacer una instalación de fibra óptica, se deberá hacer el problema del árbol de expansión mínima.

### **Árbol de Expansión mínima**

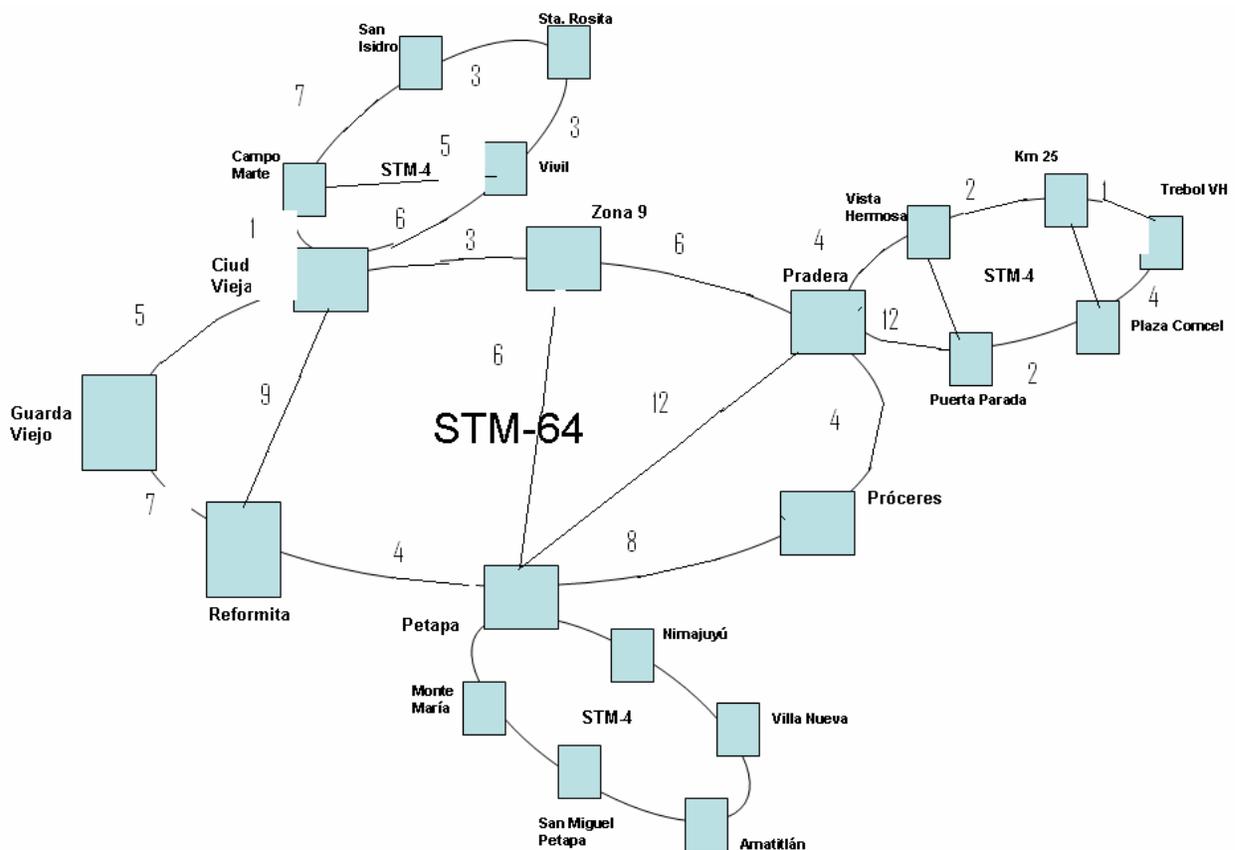
En este problema tenemos los nodos, pero no las ligaduras. En su lugar se proporcionan las ligaduras potenciales y la longitud positiva para cada una si se inserta en la red, y se desea diseñar la red con suficientes ligaduras para

satisfacer el requisito de que haya un camino entre cada par de nodos, y el objetivo es satisfacer el requisito de manera que se minimice la longitud total de las ligaduras insertadas en la red.

Ejemplo:

*El problema de la empresa es que quiere minimizar costos de transporte y viáticos para los ingenieros de mantenimiento que deben realizar las rutas haciendo las verificaciones y mantenimiento para las celdas.*

Los ingenieros trabajan una ruta cada tres días, pero la empresa quiere lograr que todas las rutas sean verificadas sin contratar más personal, más bien al *maximizar la eficiencia en tiempo y recursos de los ingenieros de mantenimiento.*



Entonces, como muestra la figura, se tiene cuatro rutas de mantenimiento, una que es la central, y otra final, y como se sabe, se debe pasar por todas

las celdas que en este caso serán *los nodos de nuestro árbol de expansión mínima*.

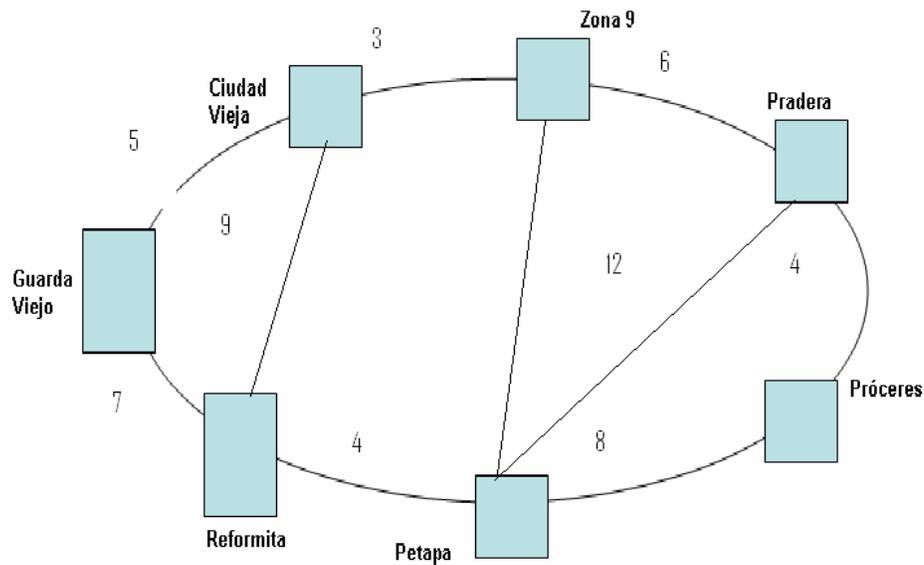
Los nodos representados son las celdas que deberán ser puestas en mantenimiento y verificación constante para cada una de las cuatro rutas.

Las rutas son:

### Ruta 1

**Origen Guarda Viejo**

**Destino Pradera**

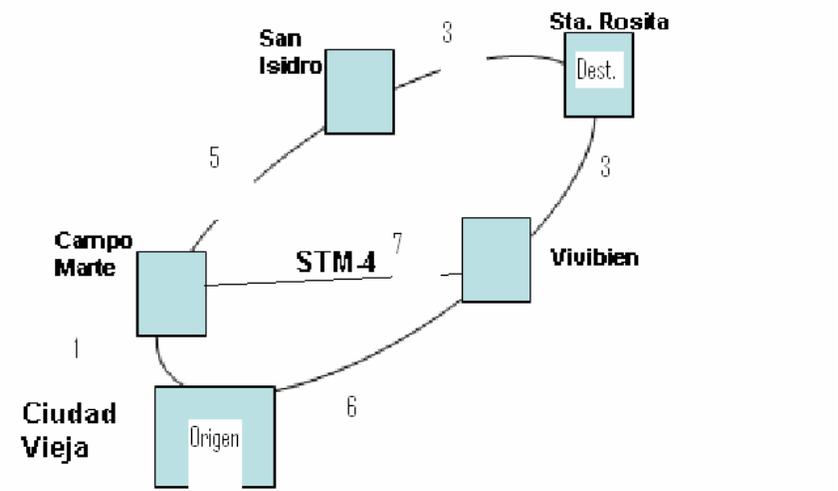


Las distancias son los arcos que se muestran, representan en Kms. la distancia promedio de una estación a otra.

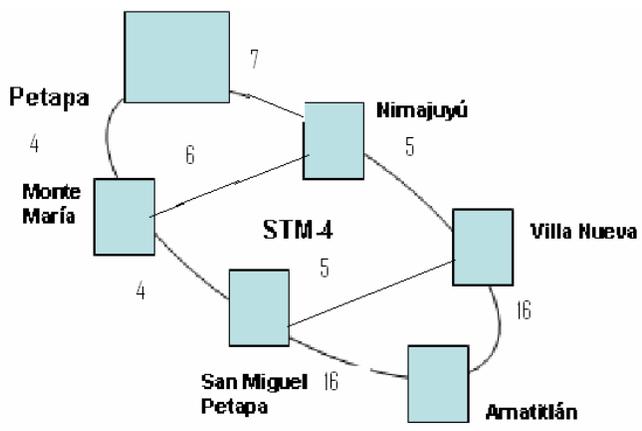
**Ruta 2**

**Origen Ciudad Vieja**

**Destino Sta. Rosita**



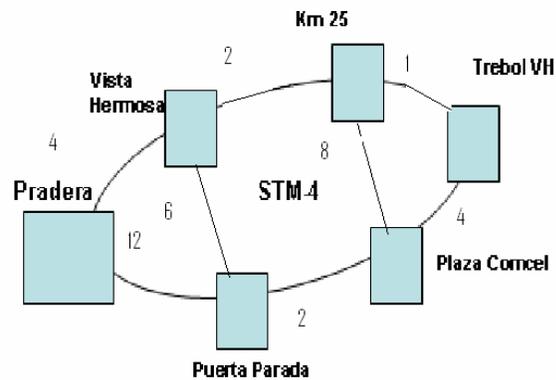
**Ruta 3**  
**Origen Petapa**  
**Destino Amatitlán**



## Ruta 4

Origen Pradera

Destino Trébol VH



Entonces, descritas las rutas, al tener las distancias, se procede a efectuar el problema de árbol de expansión mínima.

Beneficios de la solución del problema:

1. Se ahorrará gasolina al evitar tomar decisiones erróneas en la búsqueda de rutas.
2. Se ahorrará viáticos para el ingeniero de mantenimiento, porque resuelve en menos tiempo el problema de revisión y mantenimiento.
3. Se efectuarán más revisiones en períodos menores, lo que evitará que haya problemas sin resolver en mayor tiempo.
4. Se calcula que en dos días se gastan Q.400.00 en viáticos, sea comida y gasolina y otros gastos, que mensualmente equivalen a Q.5,000.00 sólo en viáticos. Se requiere que se reduzca a Q.2,000.00, lo que equivale a casi ¡otro sueldo de ingeniero de mantenimiento!

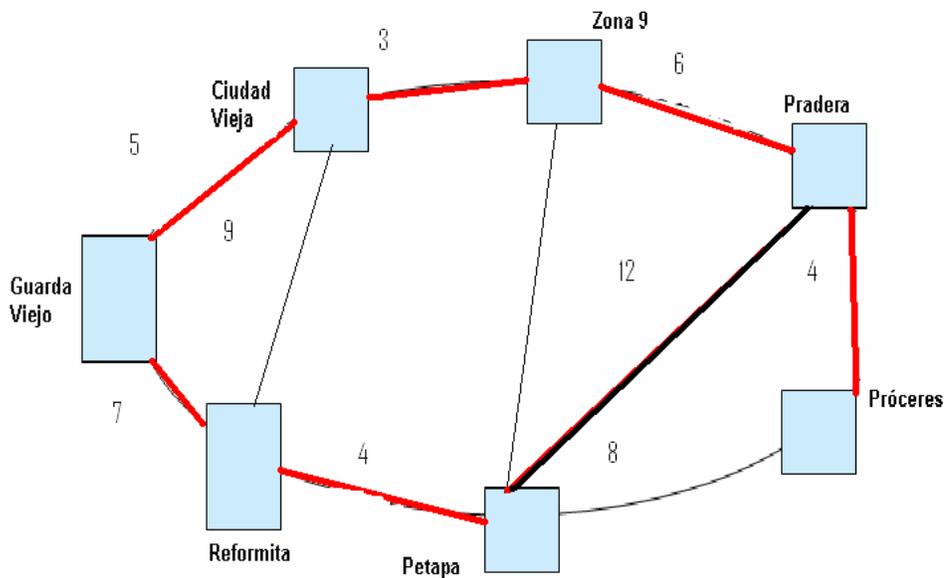
### Descripción del árbol de expansión mínima:

En este problema tenemos los nodos pero no las ligaduras, en su lugar se proporcionan las ligaduras potenciales y la longitud positiva para cada una si se inserta en la red. Se desea diseñar la red con suficientes ligaduras para satisfacer el requisito de que haya un camino entre cada par de nodos. El objetivo es satisfacer el requisito de manera que se minimice la longitud total de las ligaduras insertadas en la red.

### Solución

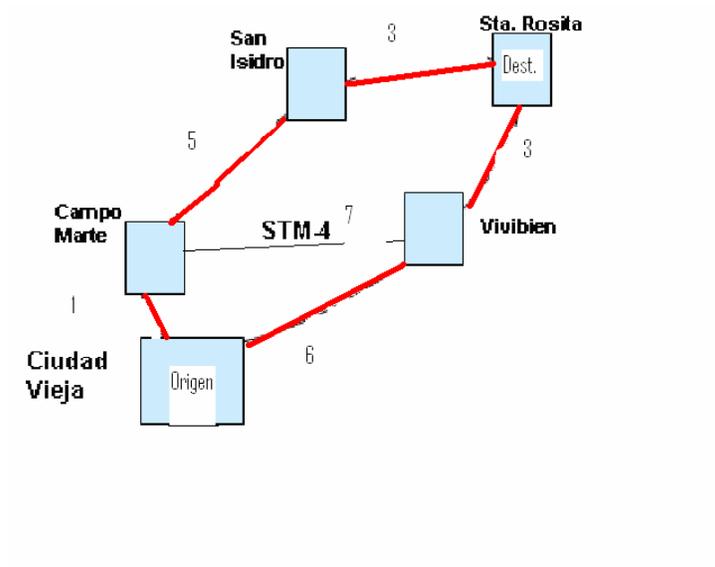
Al efectuar el problema de árbol de expansión mínima a cada una de las rutas se obtiene:

#### Ruta 1



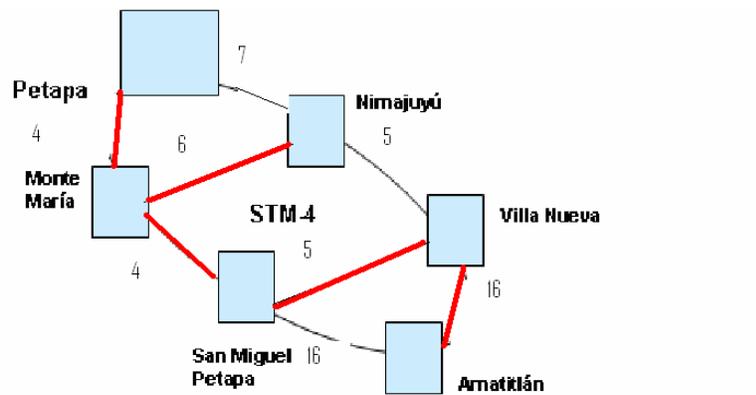
Solución a la ruta 1 de Guarda Viejo a Pradera.

## Ruta 2



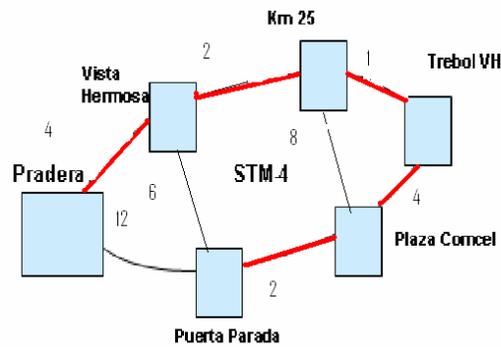
*Solución a la ruta 2 de Ciudad Vieja a Sta. Rosita*

## Ruta 3



*Solución a la ruta 3.*

## Ruta 4



### *Solución a la ruta 4.*

Dadas las soluciones a los árboles de expansión, los beneficios que se esperan son:

1. En la ruta 1 nos conviene empezar por la celda de Petapa y hacer todo el arco hasta terminar en la celda Próceres, habrá un ahorro de mínimo 8 kms., si hubiéramos elegido otra ruta para el mantenimiento.
2. En la ruta 2 no importa dónde empezemos que se tendrá la misma ruta que hacer, a excepción que se quiera tomar el camino de Campo de Marte a Vivibien, que es lo único que se tendría que evitar para ahorrar gastos.
3. En la ruta 3 es donde se marca una ruta bien especificada para el ahorro de gastos, teniendo como mínimo 10 kms. de distancia menos para hacer los mantenimientos a las celdas.
1. En la ruta 4 nos conviene empezar por Pradera y terminar en Puerta Parada para ahorrar gastos y tener como mínimo 9 kms de ahorro.

Es importante considerar que por cada km. ahorrado se tendría un ahorro en tiempo y dinero de gastos para evitar que los ingenieros de

mantenimiento, no gasten más tiempo del necesario y evitar viáticos de los necesarios, lo que le debería dar un ahorro considerable a la empresa.

#### *Aplicaciones*

- § Diseño de redes de telecomunicaciones
- § Diseño de redes de transporte
- § Diseño de una red de líneas de transmisión de energía eléctrica de alto voltaje
- § Diseño de una red de cableado en equipo eléctrico
- § Diseño de una red de tuberías

*Algoritmo:* Se selecciona de manera arbitraria cualquier nodo y se conecta al nodo distinto más cercano, luego se identifica el nodo no conectado más cercano a un nodo conectado y se conectan estos dos nodos. Este paso se repite hasta que todos los nodos están conectados. En el caso de los empates para el nodo más cercano se pueden romper en forma arbitraria y el algoritmo debe llegar a una solución óptima.

#### *Problema de flujo máximo*

Se tiene que todo flujo a través de una red conexa dirigida se origina en un nodo, llamado fuente, y termina en otro nodo llamado destino. Los nodos restantes son de transbordo, luego se permite el flujo de un arco solo en la dirección indicada por la flecha, donde la cantidad máxima de flujo está dada por la capacidad del arco. En la fuente, todos los arcos señalan hacia fuera, en el destino todos señalan hacia el nodo. El objetivo es maximizar la cantidad total de flujo de la fuente al destino. Esta cantidad se mide en cualquiera de las dos maneras equivalentes, esto es, la cantidad que sale de la fuente o la que entra al destino.

#### *Aplicaciones*

- § Maximizar el flujo a través de la red de distribución de la compañía de sus fabricas a sus clientes.
- § Maximizar el flujo a traves de la red de suministros de la compañía de los proveedores a las fábricas
- § Maximizar el flujo de petróleo por un sistema de tuberías
- § Maximizar el flujo de agua a través de un sistema de acueductos
- § Maximizar el flujo de vehículos por una red de transporte

### *Algoritmo*

Se identifica una trayectoria de aumento al encontrar alguna trayectoria dirigida del origen al destino en la red residual, tal que cada arco sobre esta trayectoria tiene capacidad residual estrictamente positiva. Luego se identifica la capacidad residual  $c^*$  de esta trayectoria de aumento encontrando el mínimo de las capacidades residuales de los arcos sobre esta trayectoria. Se aumenta en  $c^*$  el flujo de esta trayectoria. Se disminuye en  $c^*$  la capacidad residual de cada arco en esta trayectoria de aumento. Se aumenta en  $c^*$  la capacidad residual de cada arco en la direccion opuesta en esta trayectoria, y se repite.

### **7.2.2 Método símplex de Redes**

El método símplex de redes es una versión simplificada del método simplex normal, pero talvez es más fácil de trabajar debido a su representación gráfica, ya que en sus iteraciones puede resultar más fácil

visualizar cuál es la variable básica que entra y cual es la que sale. En este procedimiento es importante conocer la técnica de la cota superior debido a que es la técnica que nos ayudará a tratar las restricciones de no negatividad, en vez de tratarlas como restricciones funcionales.

Entonces, lo que se hace es sustituir  $X_{ij} = U_{ij}$  por  $X_{ij} = U_{ij} - Y_{ij}$  lo cual da un arco inverso que servirá para cancelar flujos por donde no nos convenga trabajar. Donde:

$X_{ij}$  = flujo a través del arco i-j

$C_{ij}$  = costo por unidad de flujo a través del arco i-j

$U_{ij}$  = capacidad del arco i-j

$B_j$  = flujo neto generado en el nodo i.

Entonces lo que se debe hacer es la correspondencia de las soluciones básicas factibles y los árboles de expansión factibles.

Todos los arcos que pertenecen al árbol de expansión básico se llaman arcos básicos, y los que están en el ciclo pero no en el árbol de expansión básico se llaman arcos no básicos y son los que serán las variables básicas entrantes en las iteraciones.

1. Los arcos no básicos los igualamos a cero.
2. Con los arcos básicos obtenemos los valores de los flujos dados por las restricciones de flujo.

*Definiciones:* un árbol de expansión factible es un árbol de expansión cuya solución a partir de las restricciones de nodos también satisface todas las restricciones funcionales

El teorema fundamental del método símplex de redes dice que las soluciones básicas son soluciones de árbol de expansión y que las soluciones BF son soluciones de árboles de expansión factibles.

Dado que se tiene una red de “gabinetes” implementables para VDSL, que ya han sido instalados, se tiene que saber, que dadas las restricciones de distancia para VDSL, la cual es de 1Km (de manera optima) de distancia del loop, para tener los 26Mbps, tanto de upstream como de downstream.

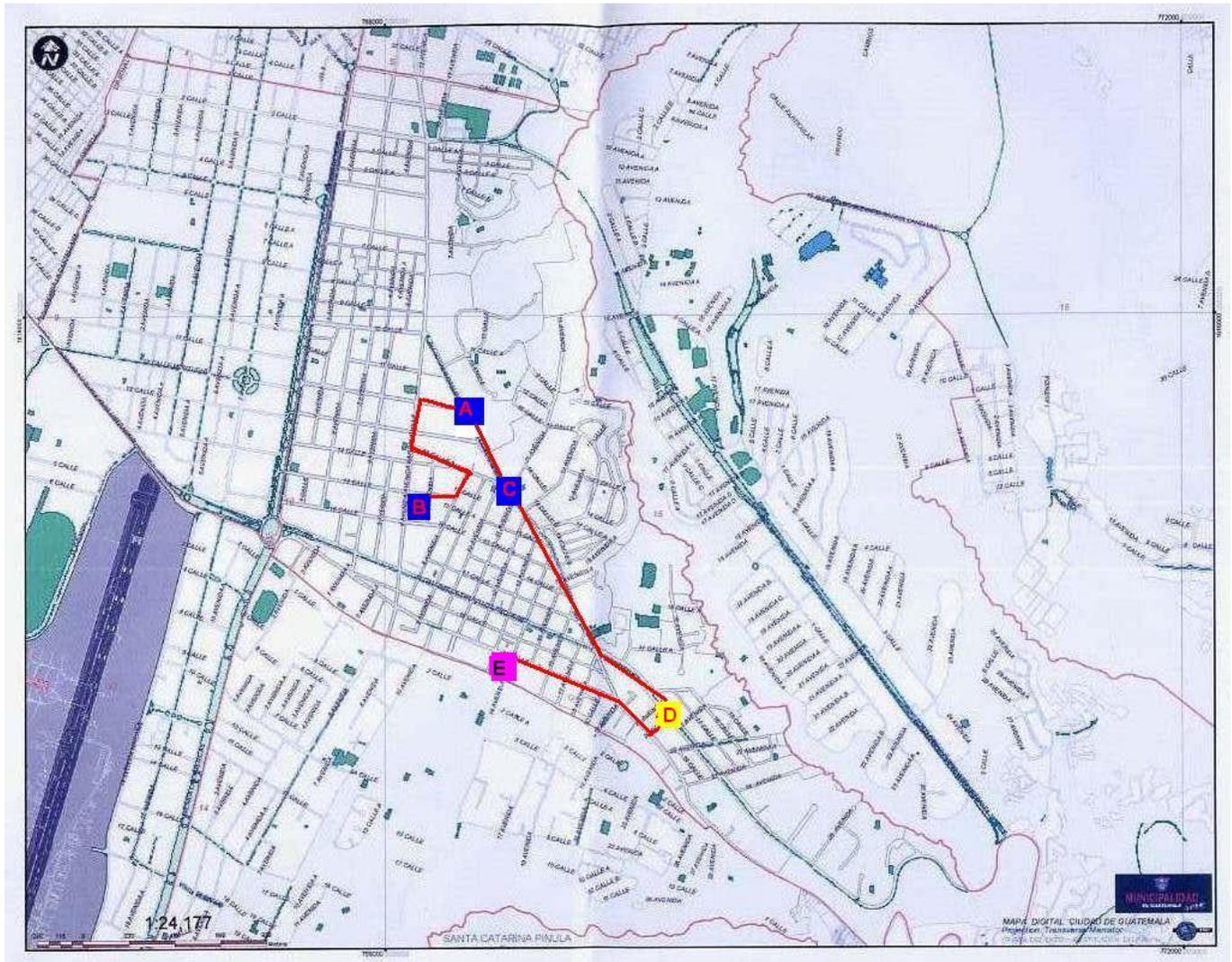
En la siguiente figura se presentan los gabinetes propuestos para la zona 9.



En el mapa de catastro anterior (obtenido en el departamento de catastro de la Municipalidad de Guatemala), se tienen los 4 gabinetes situados en las siguientes direcciones:

1. 4ª avenida y 4ª calle zona 9. (La cual tiene un cableado de fibra óptica).
2. 7ª avenida y 6ª calle zona 9. (La cual tiene un cableado de cobre).
3. 8ª avenida y 11 calle zona 9. (La cual tiene un cableado de cobre).
4. 5ª avenida y 11 calle zona 9. (La cual tiene un cableado de cobre).

5. 0 avenida y 2ª calle zona 9. (Locación virtual para cubrir completamente la zona 9).



En este mapa de catastro de la zona 10 se tienen las siguientes locaciones:

1. Diagonal 6 y 12 calle, zona 10. (Color azul cableado de cobre).
2. 6ª avenida y 16 calle, zona 10. (Color azul cableado de cobre).
3. Diagonal 6 y 12 avenida, zona 10. (Color azul cableado de cobre).

4. Boulevard los Próceres y 20 avenida "A" zona 10. (Color amarillo cableado de fibra).
5. 1 avenida y 3ª calle zona 10. (Color morado locación virtual a implementar para cubrir toda la zona 10).

Teniendo las siguientes distancias en la zona 9: (Estas distancias son calculadas según un catastro obtenido en el programa de diseño AutoCad 2004)

1. Del nodo A al B: 655m.
2. Del nodo B al C: 910m
3. Del nodo C al D: 575m.
4. Del nodo D al E: 458m.

Y En la zona 10:

1. Del nodo A al B: 1134m.
2. Del nodo B al C: 650m.
3. Del nodo C al D: 1340m.
4. Del nodo D al E: 710m.

Se observa que no sobrepasa ninguno el límite establecido para VDSL. Además, con estos gabinetes se puede cubrir toda el área corporativa, que es la razón principal de este trabajo.

Entonces se aplica el método símplex para establecer los costos mínimos, tanto de mantenimiento como de cableado para estas conexiones, teniendo la siguiente lista de usuarios virtuales:

1. Edificio Aristos, zona 9.
2. Banco Agromercantil, zona 9
3. Seguros Occidente, zona 9.
4. Banco Occidente, zona 9.
5. Edificio El Reformador, zona 9.

6. Edificio 1-64, zona 9.
7. Edificio 1-90, zona 9.
8. Edificio SAT.
9. MINEDUC.
10. G&T Seguros.
11. Centro Corporativo Guayacán.
12. Banco Reformador, zona 9.
13. Banco Industrial, zona 4.
14. Edificio Citibank, zona 10.
15. Edificio Murano Center, zona 10.
16. Edificio Atlantis, zona 10.
17. Edificio Topacio Azul, zona 10.
18. Banco Cuscatlán, zona 10.
19. Hoteles Zona Viva.
20. Banco Internacional, zona 10.

Nos da un total de 20 usuarios virtuales, en donde el método símplex deberá predecir la óptima distribución de los gabinetes instalados, tanto en la zona 9 como en la 10, dada las locaciones de los usuarios, es decir en qué lugar están más concentrados los posibles usuarios.

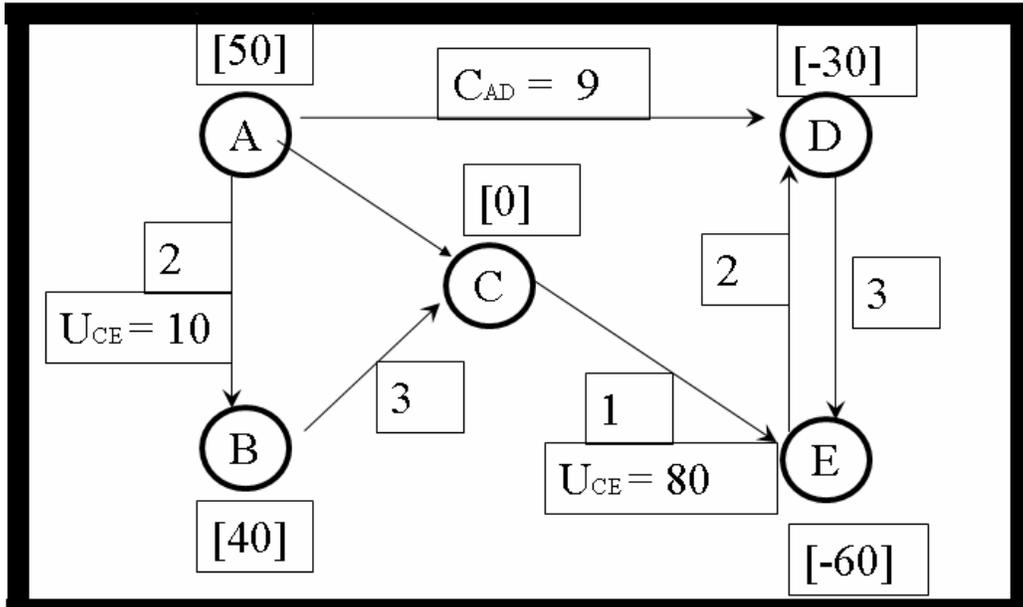
Según el catastro, se deberán usar los siguientes nodos:

1. 4ª Avenida y 4ª calle, zona 9.
2. 7ª Avenida y 6ª calle, zona 9.
3. 8ª Avenida y 11 calle, zona 9.
4. Nodo virtual (deberá implementarse) 1ª Avenida y 3ª calle zona 10.
5. Nodo virtual (deberá implementarse) 14 calle y 4 avenida, zona 10.

Dadas las locaciones de los posibles usuarios, estos 5 nodos son los que proveerán el servicio de VDSL en la fase 1, pero se deben estimar los costos, dado que este es un modelo de reducción de flujo de costos, flujo

que se ha mencionado anteriormente y que es el costo de implementación tanto del nodo, del cableado y la implementación, que es lo que considerara en este estudio.

Se representan los nodos con sus costos respectivos de implementación, es decir el equipo, de una manera tentativa, dado que no se puede saber con exactitud cuáles serían los costos reales, pero con una representación de cual sería la forma "óptima" de implementar la red, se tiene el siguiente diagrama de costos:



Donde el nodo A es el nodo 1, hasta el nodo E que es el nodo virtual 5, y en los recuadros se muestran los costos, por ejemplo para el nodo A representaría un costo de  $50\theta$ , en donde  $\theta$  equivale a una variable marginal de costos, que dará un margen o rango de implementación de VDSL, entonces para  $\theta$ , podrá tener cualquier valor que describa detalladamente los costos que posibiliten la implementación. En los arcos, se representan los costos de cableado, es decir del nodo A al B existe un costo de cableado de  $2\theta$ , del nodo C al E de  $\theta$ , del B a C de  $3\theta$  y así sucesivamente. La variable  $U_{CE}$  representa la capacidad de arco, es decir que tanta capacidad

de costo puede soportar la red de un nodo a otro. Se debe mencionar que el nodo C no tiene costo, dado que es de transbordo, es decir un nodo auxiliar en caso no se llegue a realizar cualquiera de las implementaciones (o funcionamiento) del nodo A, B, D o E. Este nodo debería ser el auxiliar. Los signos negativos del nodo D y E representan su virtualidad, es decir que aún no han sido implementados, por lo que el costo negativo se puede asumir como un costo de oportunidad.

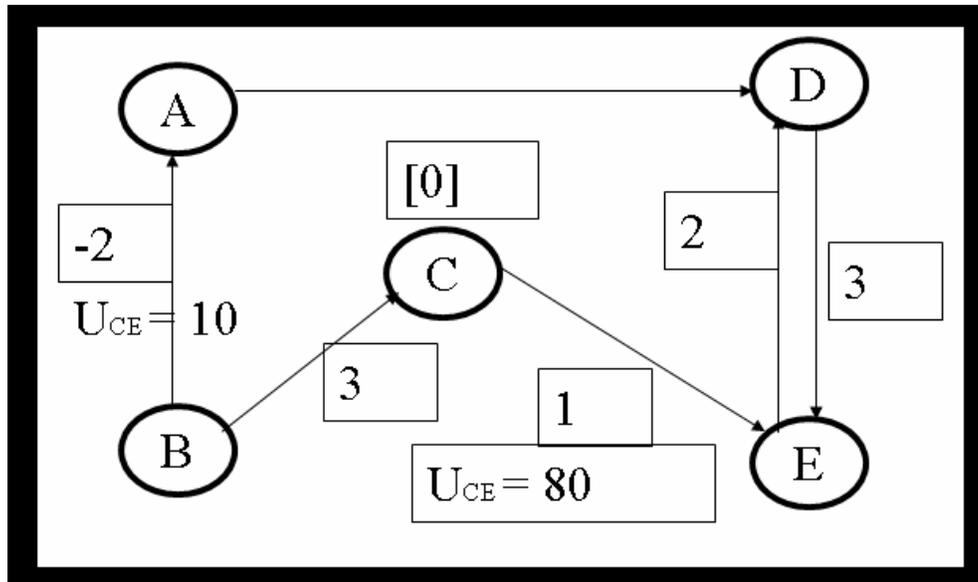
En el siguiente diagrama, se muestra la incorporación de la técnica de la cota superior (descrita en Hillier-Lieberman pags. 430-445), en donde se invierte la dirección del flujo de costos del nodo A al B, de manera que ahora el flujo deberá estar dirigido del nodo B al A.

En donde luego se debe empezar a formar el árbol de expansión factible, siguiendo los pasos:

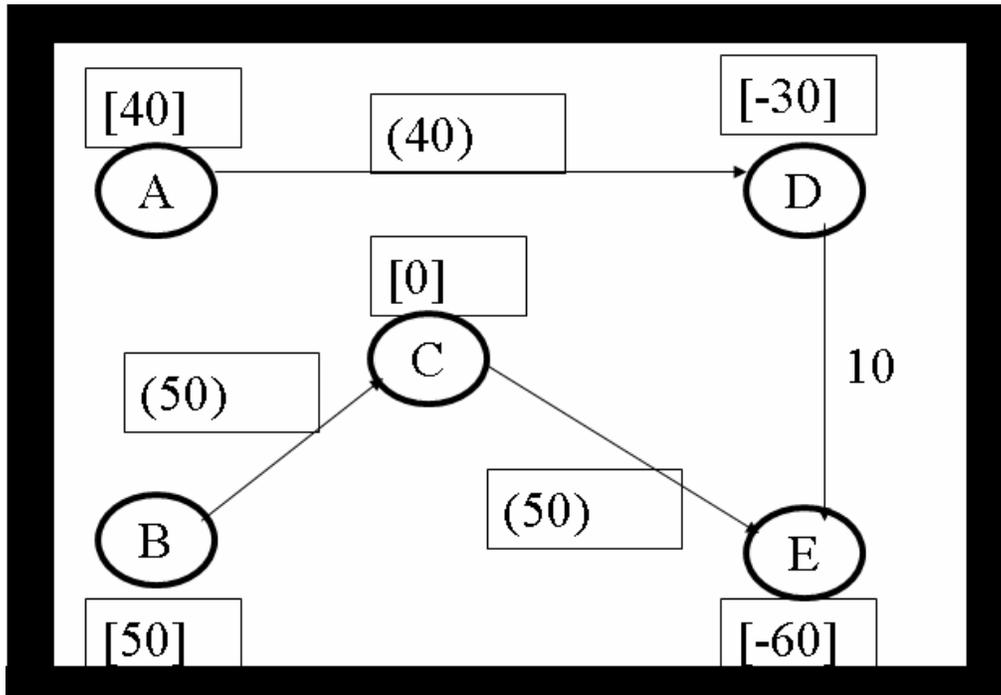
1. Los arcos no básicos los igualamos a cero
2. Con los arcos básicos obtenemos los valores de los flujos dados por las restricciones de flujo.

*Definiciones:* un árbol de expansión factible posee una solución a partir de las restricciones de nodos, también satisface todas las restricciones funcionales.

El teorema fundamental del método símplex de redes dice que las soluciones básicas son soluciones de árbol de expansión (y a la inversa) y que las soluciones básicas factibles son soluciones de árboles de expansión factibles (y a la inversa).

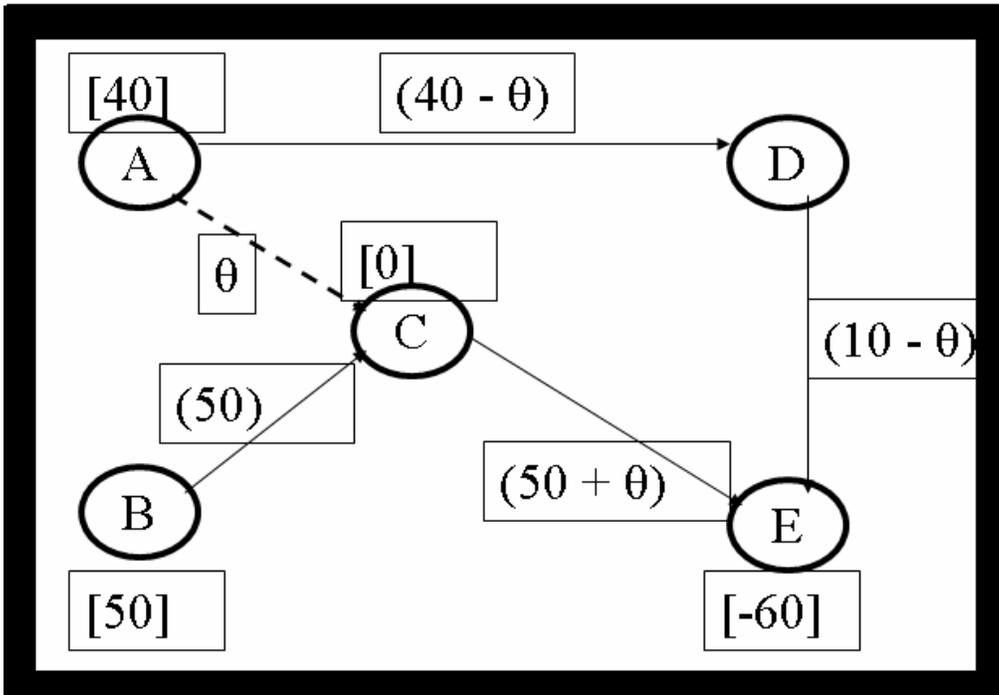


En la siguiente figura, se muestra el primer árbol de expansión factible:

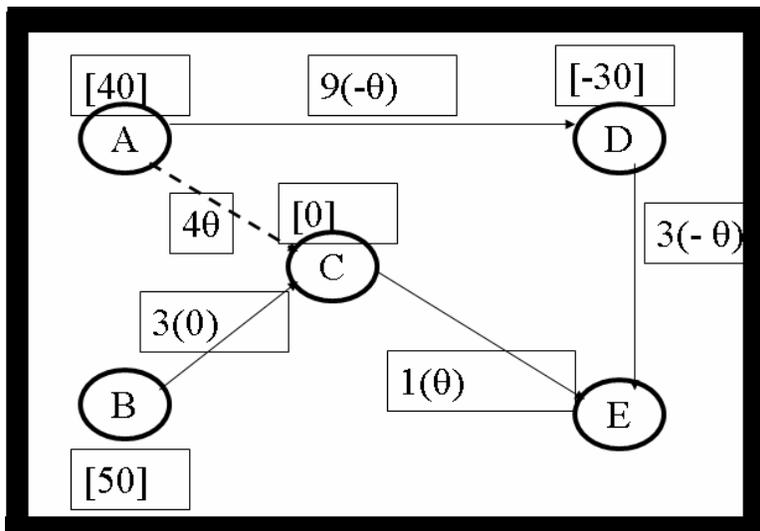


Luego se debe realizar la primera iteración del método símplex, en donde se debe elegir la variable básica entrante, que es una variable no básica y que debe mejorar el valor de la función objetivo, función que al terminar las iteraciones será la que describa la descomposición de las redes a una función matemática que describirá el comportamiento económico del modelo.

En este diagrama se muestra la primera iteración donde se considera agregar el arco A-C con flujo  $\theta$ , al árbol de expansión factible inicial.

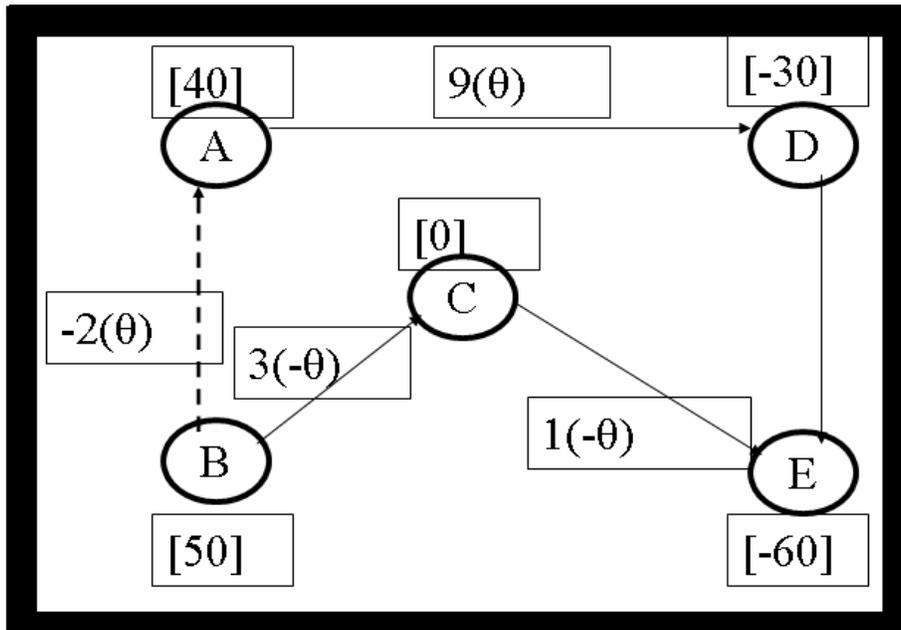


Luego en el siguiente diagrama se aprecia el efecto incremental sobre los costos al agregar el arco A-C con flujo  $\theta$  al árbol de expansión factible inicial.

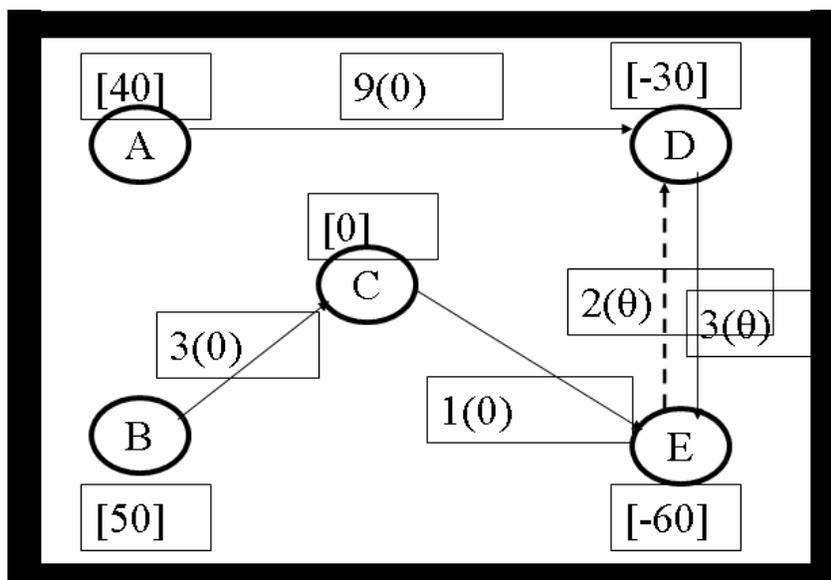


Regularmente se elige como la variable básica saliente la que alcanza mas rápido su valor de cota.

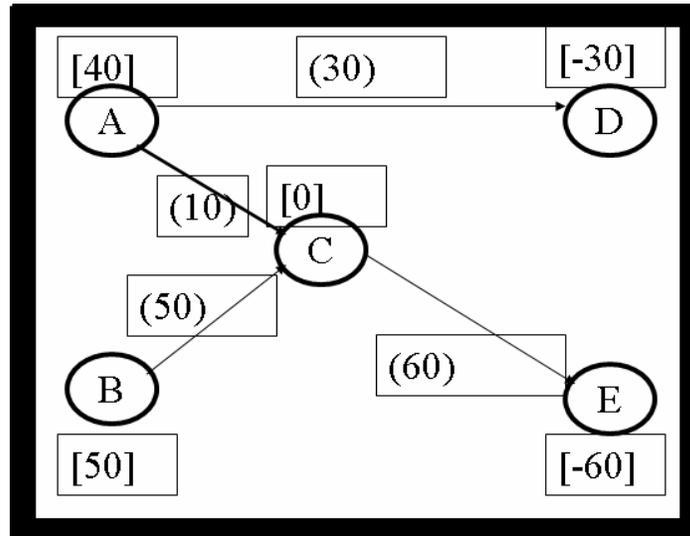
Luego se realiza la segunda iteración, al variar el valor de la segunda variable no básica, agregando el arco B-A.



De igual manera con el arco D-E:



Lo que proporciona el segundo árbol de expansión factible, representado en el siguiente diagrama:



Luego se verán los efectos incrementales de la segunda iteración, donde el valor mínimo describirá cual deberá ser el tercer árbol de expansión factible.

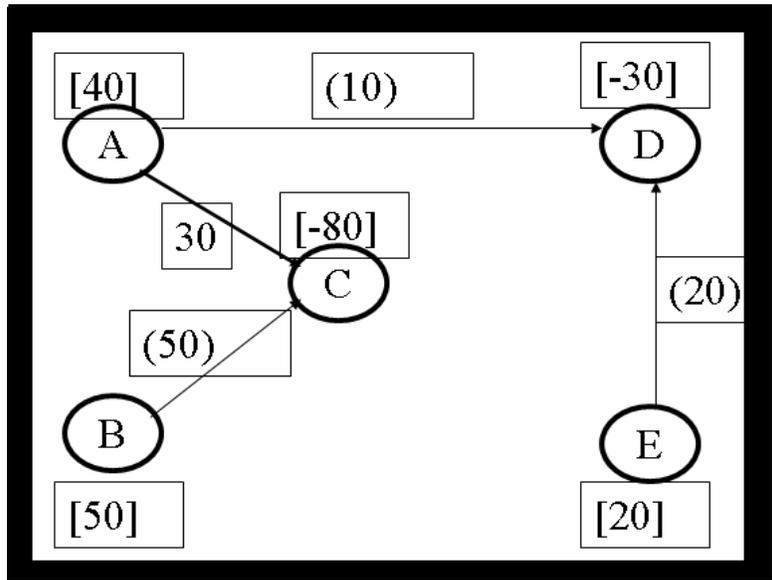
Arco no básico	Ciclo creado	$\Delta Z$ cuando $\theta = 1$
B-A	BA-AC-BC	$-2 + 4 - 3 = -1$
D-E	DE-CE-AC-AD	$3 - 1 - 1 + 9 = 7$
E-D	ED-AD-AC-CE	$2 - 9 + 4 + 1 = -2$

$X_{ED} = \theta \leq U_{ED} = \infty$	Entonces $\theta \leq \infty$
$X_{AD} = 30 - \theta \geq 0$	Entonces $\theta \leq 30$
$X_{AC} = 10 + \theta \leq U_{AC} = \infty$	Entonces $\theta \leq \infty$

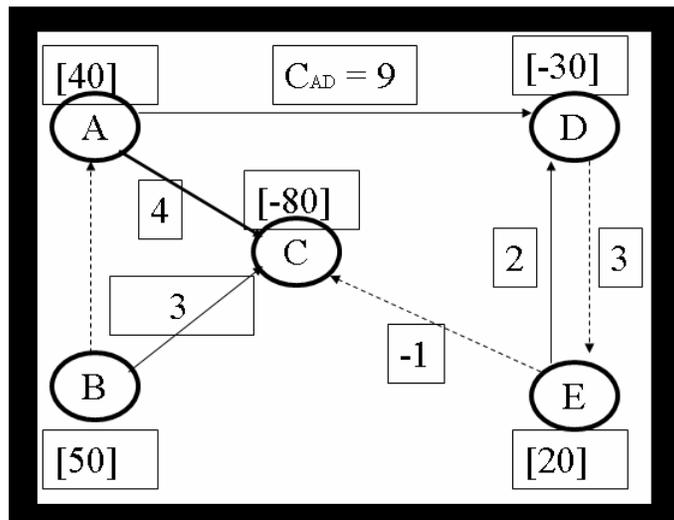
$X_{CE} = 60 + \theta \leq U_{CE} = 80$	Entonces $\theta \leq 20$
---	---------------------------

En las tablas se muestra cómo se elige la variable básica que sale.

De esta manera se obtiene el tercer árbol de expansión factible:



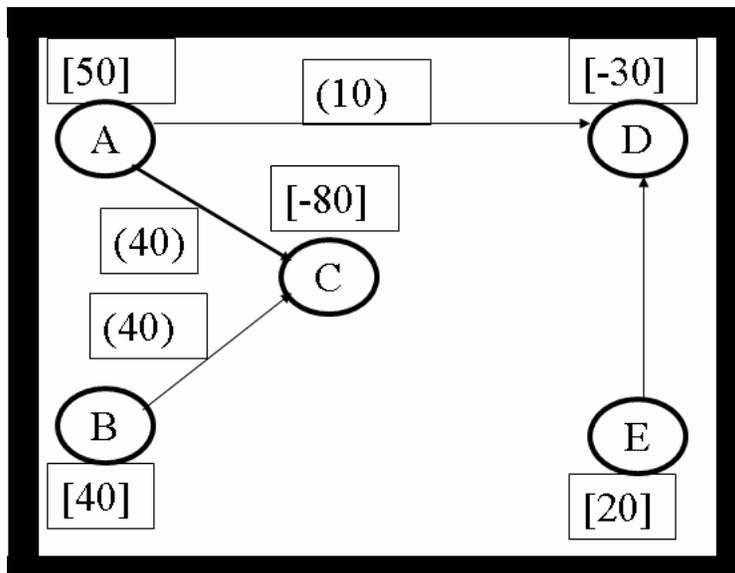
Donde se puede ajustar la red con costos unitarios dada la segunda iteración:



Luego se procede a realizar la tercera iteración donde se harán los cálculos para elegir la variable básica entrante.

Arco no básico	Ciclo creado	$\Delta Z$ cuando $\theta = 1$
B-A	BA-AC-BC	$-2 + 4 - 3 = -1$
D-E	DE-ED	$3 + 2 = 5$
E-C	EC-AC-AD-ED	$-1 - 4 + 9 - 2 = 2$

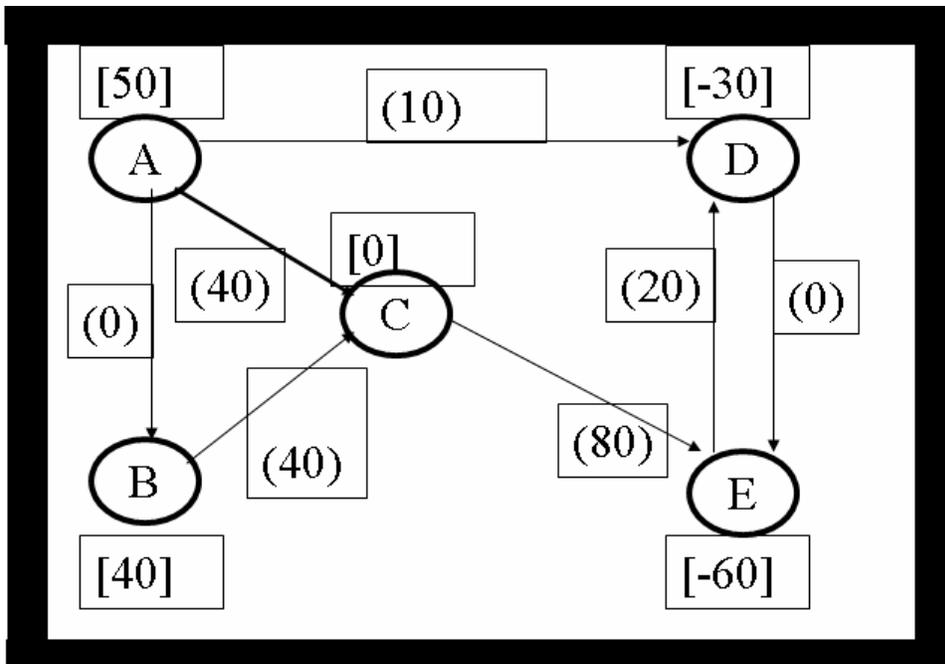
Lo que producirá el cuarto árbol de expansión factible:



Donde se procede a realizar nuevamente los cálculos para elegir la variable básica entrante en la iteración 4.

Arco no basico	Ciclo creado	$\Delta Z$ cuando $\theta = 1$
A-B	AB-BC-AC	$2+3 -4 =1$
D-E	DE-EC-AC-AD	$3 -1 -4 +9 =7$
E-C	EC-AC-AD-CE	$-1 -4+9 -2= 2$

La cual dará el patrón de flujo óptimo en la red original:



Donde se predice que para el nodo A se deberá invertir  $50 \theta$ , en B  $40 \theta$ , C seguirá como nodo de transbordo auxiliar y, D deberá invertirse  $30 \theta$  y E  $60 \theta$ , en caso A no funcione, se deberá enviar tanto  $40 \theta$  de A y de B, lo que generará costos de cableado de  $80 \theta$  para llegar a E, caso contrario de

llegar de A a D sólo costará  $10\theta$ , y se elegirá que se tome siempre la dirección de E a D para el cableado.

### **7.3 Dinámica de sistemas como un proceso de realización de su potencial.**

Se ha optado por este método económico como principio para desarrollar la factibilidad económica de la implementación de VDSL metropolitano, de una manera de proyección, dada la naturaleza del mercado en el cual circulara VDSL. Los datos adquiridos como desarrollos y como estadísticas, sugieren el uso de un método matemático abstracto que pueda predecir la correlación entre tarifa, costos y servicios para desarrollar esta tecnología. Este método propone encontrar ecuaciones dinámicas sistemáticas que contengan parámetros respecto de diferentes componentes sistemáticos, para saber que ante la disponibilidad de estas dependencias matemáticas, implicarían la existencia de correlación entre sus componentes.

Si se desea desarrollar un potencial "VDSL", con condiciones como número de usuarios virtuales, se pueden encontrar valores numéricos reconocibles que predigan la correlación entre estos términos. También se podrían determinar como parámetros, el número de compañías que puedan ofrecer competencia:

Número de operador	Nombre del operador de Red Local
1	FT&T, S.A. (Telered)
2	Cablenet, S.A.
3	Universal de Telecomunicaciones, S.A.
4	Comunicaciones Celulares, S.A.
5	Telefónica Centroamérica Guatemala, S.A.
6	Servicios de Comunicaciones Personales Inalámbricas, S.A.
7	A-tel Communications, S.A.
8	Telecomunicaciones de Guatemala, S.A.
9	Cybernet de Centroamérica, S.A.
10	Teléfonos del Norte, S.A.
11	Bellsouth Guatemala y Cia. s.c.a.
12	Americatel Guatemala S.A.
13	Desarrollo Integral, S.A.
14	BNA, S.A.
15	GUATEL
16	TTI, S.A.
17	Tecnología en Telecomunicaciones Abiertas, S.A.
18	AT&T Servicios de Comunicaciones Guatemala, S.A.
20	IT&S

Las tarifas para la empresa que se desea desarrollar este estudio, las cuales serán el primer parámetro, serán la base para el desarrollo de el potencial.

El segundo parámetro será la cantidad de usuarios virtuales:

- Trafico Total telefónico internacional cursado por operador de puerto internacional Año 2005: 21,125,549 minutos. Siendo el 0.81% del tráfico total de Guatemala.
- Abarcando el área corporativa de Guatemala (donde se desarrollará este estudio), 500 usuarios de un total de 921,892, siendo el 0.0005% de líneas fijas en el departamento de Guatemala. (Por ser la fase 1).

Se ha investigado que se pueden tener 500 usuarios virtuales, donde el factor de oportunidad empezaría al 15%, lo que serían 75 usuarios recibiendo el servicio VDSL, y con estos valores iniciales, se predecirá su desarrollo en estas zonas corporativas.

**U Condiciones de realización.** Se podrá tomar como el desarrollo de las telecomunicaciones de Guatemala, de 1,132,121 en el 2004 a 1,248,161 al 2005 (creciendo un 10.25%) y 1,301,277 al 2006 (creciendo 4.25%), teniendo un desarrollo actual del 4.25% de desarrollo. Esto definirá el entorno de desarrollo al cual está sujeto la oportunidad de VDSL.

Estos valores caracterizarán el estado del sistema al nivel más abstracto, pero matemáticamente factible.

Estos valores serán obtenidos por medio de procesamiento de información del sistema.

*Estatuto 1:* Sea  $F$  el potencial, VDSL o bien el desarrollo o factibilidad de implementación del mismo,  $U$  las condiciones de realización, consideradas como el entorno económico actual que rodea al mercado de telecomunicaciones de Guatemala,  $\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$  un número de parámetros del sistema que afectan los valores abstractos  $F$  y  $U$ , en este caso, las tarifas, costos de implementación y cantidad de usuarios virtuales.

*Estatuto 2:* Los parámetros registrados son los datos del sistema que tenemos.

*Estatuto 3:* La función de potencial puede ser realizado por cualquier función de parámetros registrados que muestren correctamente el carácter de efecto que esos parámetros en el potencial valgan.

Significa que si un cambio en los parámetros registrado del sistema para el valor abstracto  $F$  es especificado solo para dentro la transformación funcional

$F \rightarrow \Psi(F)$  donde  $\Psi(F)$  es una función arbitraria no decreciente de  $F$ . Esta función definirá el comportamiento de la oportunidad de VDSL, siendo como una función en valores de los parámetros mencionados anteriormente. (Tarifas, costos y cantidad de usuarios virtuales).

*Estatuto 4:* Dependiendo del número de condiciones existentes en un momento del sistema potencial, es realizado por completo o por una parte. Entonces para VDSL su realización en una porción de tiempo, serán de 500 compañías virtuales, el 15% de ellas podría estar suscriptas al servicio, y será denotada como:  $F_R$

Con lo cual se puede establecer una relación de realización:  $K = \frac{F_R}{F}$

La relación de realización de potencial será la actividad hecha sobre una actividad total, en el caso de VDSL será el 15% de las compañías suscriptas al servicio, sobre un total de 500 compañías con posible suscripción.

Y en forma diferencial, si definimos la "actividad" (actividad es la forma de manifestación y la forma de existencia del potencial realizable) efectuada durante el tiempo  $\Delta t$  como  $A_R(\Delta t)$

Y la máxima actividad posible que puede ser realizada durante este tiempo como  $A(\Delta t)$

Entonces, la relación de realización queda:

$$k = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{A_R(\Delta t)}{A(\Delta t)}$$

Por esta razón el potencial puede ser definido como la intensidad de actividad, o como la cantidad de actividad que es realizada o puede ser efectuada en una unidad de tiempo, es decir la cantidad de usuarios virtuales comprando el servicio a una tarifa, ayudando a los costos de implementación, dado un entorno económico para desarrollar la tecnología VDSL.

La relación de realización con los parámetros  $\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$  es expresado de la forma:  $k(q_1, q_2, \dots, q_n) = k(U(q_1, q_2, \dots, q_n), F(q_1, q_2, \dots, q_n))$ .

Propiedades de esta función:

Existe un número óptimo de condiciones para para cualquier valor de potencial donde la realización entera del potencial del sistema es alcanzado,

$$\text{esto es } \forall F, \exists U_0 : k(F, U_0) = 1$$

Es decir la manera óptima de realización de VDSL, lo cual sería fuera de razón.

Mientras más grande es el potencial, mas son las condiciones que se necesitan para llenar su realización, esto es  $U_0(F)$ , estrictamente una función creciente, o sea mientras mayor desarrollo de VDSL se necesite predecir, mayor información del entorno en donde se desarrolle se necesitaría.

$$\text{Teniendo } U \rightarrow 0; k(U, F) \rightarrow 0$$

Teniendo  $U \neq U_0; 0 < (U, F) < 1$  como condiciones de no igualdad a cero son necesarias para la realización del potencial  $U_0$  del sistema.

Si el número de condiciones es mayor que el óptimo  $U_0$ , entonces el potencial del sistema es realizado sólo en parte.

*Estatuto 5:* El proceso de realización de potencial resulta en el crecimiento de aquellas potencialidades del sistema que están siendo realizadas en el proceso y en decrecimiento de todas las potencialidades no realizadas, dado el hecho que la tecnología es un “ente” económico muy variable. Dada su naturaleza, se puede ejemplificar diciendo que para el desarrollo de VDSL podría en el futuro no considerarse como parámetro la tarifa (como por ejemplo la tecnología WIMAX en Los Angeles California, donde el servicio será gratuito). Tal vez podría ser la cantidad de patrocinadores, o la cantidad de sitios mecenas para el desarrollo de VDSL.

Se tienen dos cambios en el potencial:

1. Incremento de potencias realizables:

$$\dot{F}_+ \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta F_+}{\Delta t}$$

2. Decremento de potencias realizables:

$$\dot{F}_- \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta F_-}{\Delta t}$$

Entonces, el valor del cambio completo de potencial en una unidad de tiempo es

$$\dot{F} = \dot{F}_+ - \dot{F}_-$$

Si se limita al caso de estrictamente lineales las funciones, y crecientes:

$$\dot{F}(F_R) \text{ y } \dot{F}_-(F - F_R).$$

$$\dot{F} = \gamma_R \cdot F_R - \gamma_D \cdot (F - F_R);$$

$$\gamma_R > 0; \gamma_D > 0$$

Y sean  $a \equiv \gamma_D; b \equiv 1 + \frac{\gamma_R}{\gamma_D}$

en donde gamma r es un factor de incremento de potencias realizables. En este caso, el número de compañías nuevas a suscribirse.

Gamma d es un factor de decremento de potencial, en este caso serán las compañías que dejen de recibir el servicio de VDSL.

Relacionándolas, se obtiene la clave de la ecuación de la dinámica de potencial como una aproximación lineal:

$$\dot{F} = a \cdot (b \cdot k(U, F) - 1) \cdot F$$

*Estatuto 6:* El número de condiciones cambia dadas las razones:

- i. El proceso de realización de potencial es un consumo de condiciones disponibles y la creación de nuevas condiciones.
- ii. Si el potencial de un sistema no es realizado, el número de condiciones disponibles en el sistema, decrecen. Esto puede ser conectado con el principio físico universal del crecimiento de entropía de sistemas.

Para un incremento de condiciones:

$$\dot{U}_+ \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta U_+}{\Delta t}$$

Para un decremento de condiciones:

$$\dot{U}_- \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta U_-}{\Delta t}$$

Asumiendo nuevamente la linealidad de las interrelaciones, se tiene la primera parte de la ecuación de condición.

Siendo  $U$   $du/dt$ . Es una función de desarrollo (óptimamente) en el tiempo.

$U$ =progreso. Tomando del periodo 2000-2001, 2001-2002, 2002-2003, 2004-2005 y 2005-2006.

Condición= tarifas =  $5190x + 2400 - w + 500$

$X$  factor de costo de implementación

2400 es la constante de precio de instalación.

$w$  serán los costos totales de desarrollo y equipo VDSL.

$$\dot{U}_I = \dot{U}_+ - \dot{U}_- = x.F_R - y.F_R = v.k(U, F).F$$

$$v = x - y;$$

$$x > 0; y > 0$$

Y la segunda parte:

$$\dot{U}_{II} = -\lambda.U;$$

$$\lambda > 0$$

El valor  $x$  es un incremento de condiciones empujado por el mercado, por ejemplo leyes nuevas, tasas reguladas, etc.

El valor  $y$  es un decremento de condiciones, es decir, condiciones consideradas anteriormente y que en un momento en el tiempo se tornan inservibles.

El valor  $\lambda$  es un factor de entropía, que hace que el desarrollo de potencial sea afectado. Es siempre un valor negativo, por ejemplo se podría considerar como inflación, costos de renta nacional, etc.

Relacionándolas, se obtiene la ecuación de condiciones dinámicas como una aproximación lineal:

$$\dot{U} = v.k(U, F).F - \lambda.U$$

Entonces las anteriores serán llamadas las ecuaciones de evolución, que representan ecuaciones diferenciales no lineales de primer orden, que incluyen la función subsidiaria desconocida, de la relación de realización. Resolviendo para las funciones anteriores, se tiene ya sea un progreso o una regresión para los valores que se están trabajando.

La relación de realización no depende de las unidades de opción de desarrollo para los valores abstractos  $F$  y  $U$ . si se considera una transformación escalar de las funciones  $F$  y  $U$ .

$$F \Rightarrow \mu.F; U \Rightarrow \mu.U$$

De igual manera

$$\dot{F} \Rightarrow \mu \dot{F}; \dot{U} \Rightarrow \mu \dot{U}$$

Esto implica que la relación de realización es una función de condiciones para relación de potencial:

$$k(U, F) \equiv k\left(\frac{U}{F}\right) \equiv k(Y)$$

El análisis de las soluciones de las ecuaciones de evolución

### 7.3.2 Análisis de la solución de las ecuaciones evolutivas

Si se introduce  $y=U/F$ . donde  $y$  son condiciones para la realización de potencial, es decir  $y$  representa una relación que debe manifestar si la consideración del numero y tipo de condiciones serán las optimas para el desarrollo del potencial. (Porcentaje de realismo).

Se obtiene la ecuación para la variable  $y$ :

(La solución esta detallada en Dynamics of a Sistem. págs. 8-9).

$$\frac{\dot{y}}{y} \equiv \frac{\dot{U}}{U} - \frac{\dot{F}}{F} = k(y) \cdot \left( \frac{v}{y} - a \cdot b \right) + (a - \lambda).$$

Con la solución:

$$\int \frac{dy}{\left( \frac{v - aby}{a - \lambda} \right) k(y) + y} = const_1 + (a - \lambda) \cdot t$$

Donde el valor constante depende de las condiciones iniciales, en este caso deberán ser 0, dado que no podrá tener registrado ningún valor de potencial en el momento inicial. Luego,  $a-\lambda$ , multiplicado por el tiempo, será el valor que indicara la intensidad de desarrollo de  $y$ , es decir la cantidad de potencial desarrollable. Dadas las condiciones,  $y$  el valor  $a$  definirá el valor de desarrollo positivo, es decir, los parámetros positivos, o de ganancia (para este caso las tarifas y la cantidad de usuarios virtuales) y  $\lambda$  los parámetros negativos (costos de implementación), en donde si  $\lambda$  es mayor que  $a$ , en el tiempo se tendría perdida para  $y$ , lo que define que se deberá aumentar la tarifa, que en este caso se define como el costo de 2 E1, es decir Q. 10,380.00. (No un mal costo para tener mas de 12 veces el ancho de banda de un E1, ya que con VDSL simétrico se tienen 26Mbps, en comparación con los 2.048 Mbps de un E1).

Las ecuaciones para las funciones  $U(y)$  y  $F(y)$  pueden ser integradas así:

$$LnU(y) + Const_2 = \int \frac{\left[ v \cdot \frac{k(y)}{y} - \lambda \right] \cdot dy}{(v - aby) \cdot k(y) + (a - \lambda) \cdot y}$$

$$LnF(y) + Const_2 = \int \frac{\left[ b \cdot \frac{k(y)}{y} - 1 \right] \cdot a \cdot dy}{(v - aby) \cdot k(y) + (a - \lambda) \cdot y}$$

Para Ln(U) se observa que describirá el comportamiento de las condiciones para el futuro, dado que la curva de evolución puede predecir que tan acertado será el modelo propuesto, y luego dará las áreas de desarrollo del modelo.

Además, dada la solución logarítmica para y en el potencial F y en las condiciones U, se puede ver que el comportamiento creciente será algo que defina al potencial, es decir tendrá la tendencia a “mejorar”, si se ha formulado correctamente el modelo.

Si se introducen las siguientes ecuaciones dependientes:

- $P_Y(y) = (v - aby) \cdot k(y) + (a - \lambda) \cdot y$
- $P_F(y) = b \cdot k(y) - 1$
- $P_U(y) = v \cdot k(y) / y - \lambda$

Usando estas funciones se reescriben las ecuaciones de evolución:

$$\dot{F} = a \cdot P_F(y) \cdot F;$$

$$\dot{U} = P_U(y) \cdot U;$$

$$\dot{y} = P_Y(y).$$

Se ve que  $P_Y(y) \equiv y.(P_U(y) - a.P_F(y))$

Si  $y \rightarrow 0, \Rightarrow P_U(y) - a.P_F(y) \rightarrow a - \lambda + v.k'(0)$

Entonces las soluciones de las ecuaciones de evolución anteriores quedan

de la forma:

$$\int \frac{(a - \lambda).dy}{P_Y(y)} = Const_1 + (a - \lambda).t$$

$$LnU(y) + Const_2 = \int \frac{P_U(y).dy}{P_Y(y)}$$

$$LnF(y) + Const_2 = \int \frac{P_F(y).a.dy}{P_Y(y)}$$

En la primera ecuación si  $t \rightarrow \pm\infty$  entonces  $y \rightarrow y_Y^{(i)}$ ,  
donde  $y_Y^{(i)}$ , es la raíz de la ecuación:

$$P_Y(y) \equiv y.(P_U(y) - a.P_F(y)) = 0.$$

Si  $k'(0) \equiv \lim_{y \rightarrow 0} k'(y) \neq \infty$ , entonces  $y=0$  es la raíz de la ecuación anterior,  
y las demás raíces cumplen con la relación

$$k(y) = \frac{(a - \lambda).y}{aby - v}$$

Sean  $y_Y^{(0)} = 0 < y_Y^{(1)} < y_Y^{(2)} < \dots < y_Y^{(M)}$

Las raíces de la ecuación anterior, y sea  $y(0)$  la relación de la cantidad de  
condiciones para encontrar el valor del potencial en el inicio del tiempo.

Entonces la historia del desarrollo del sistema lleva a dar lugar dentro del  
dominio:  $y_y^{(i-1)} < y < y_Y^{(i)}$ , donde  $y_Y^{(i-1)}$ ,  $y_Y^{(i)}$  son las raíces con el  
valor mas cercano a  $y(0)$ :

$$y_Y^{(i-1)} < y(0) < y_Y^{(i)}$$

La introducción de estas ecuaciones servirán para determinar el área de desarrollo de VDSL.

Se denotaron los dominios  $y_Y^{(i-1)} < y < y_Y^{(i)}; i = 1, 2, \dots, M$

como las áreas de desarrollo. Cada área de desarrollo tiene una porción del plano (U,F) restringidos por las líneas rectas

$$U_{i-1}(F) = y_Y^{(i-1)} \cdot F, U_i(F) = y_Y^{(i)} \cdot F$$

El área de desarrollo será denotado por

$$\Omega_i (y_Y^{(i-1)} < y < y_Y^{(i)})$$

La totalidad de las áreas de desarrollo

$$\Omega = \{ \Omega_1; \dots; \Omega_M \}$$

La opción de desarrollo:

$$\Xi_{Y\uparrow; U\uparrow; F\uparrow} \equiv \Xi_{\uparrow\uparrow\uparrow}$$

El tipo de evolución esta prescrito al especificar el área de desarrollo y el conjunto ordenado de opciones de desarrollo para el dominio dado.

Si  $P_Y(y) > 0$  entonces las curvas de evolución con respecto al área de desarrollo abarcan las opciones de desarrollo con la función creciente

$y(t) : \Xi_{\uparrow\uparrow\uparrow}; \Xi_{\uparrow\uparrow\downarrow}; \Xi_{\uparrow\downarrow\downarrow}$  y las curvas de evolución están dirigidas en contra de las manecillas del reloj si se procede del plano con coordenadas (U,F).

Si  $P_Y(y) < 0$  entonces la función  $y(t)$  decrece y las curvas de evolución están dirigidas a favor de las manecillas del reloj, y da tres opciones:

$$\Xi_{\downarrow\downarrow\uparrow}; \Xi_{\downarrow\downarrow\downarrow}; \Xi_{\downarrow\uparrow\uparrow}.$$

En las áreas de desarrollo para  $P_Y(y)$ , el borde superior es la línea de convergencia, y el borde inferior es la línea de dispersión.

Para el valor  $y_{+\infty} \equiv \lim_{t \rightarrow +\infty} y(t)$  es el valor  $y$  para las líneas de convergencia, mientras el valor  $y_{-\infty} \equiv \lim_{t \rightarrow -\infty} y(t)$  es el valor de  $y$  para las líneas de dispersión en las curvas de evolución.

Los posibles valores de  $y$  para cada área están acorde con las inecuaciones:

$$y_{-\infty} < y < y_{+\infty}$$

Para las áreas  $P_Y(y) > 0$  y

$y_{+\infty} < y < y_{-\infty}$  Para las áreas  $P_Y(y) < 0$ .

Las áreas 1 se denotaran:  $\Omega^+$

Las áreas 2 se denotaran:  $\Omega^-$

Los bordes de las áreas de desarrollo son raíces de la ecuación:

$$P_Y(y) \equiv y.(P_U(y) - a.P_F(y)) \equiv (v - aby).k(y) + (a - \lambda).y = 0$$

Impactos externos como una razón de cambio del área de desarrollo del sistema.

Se puede denotar el cambio del sistema del área  $\Omega_i$  hacia el área

$\Omega_k$  ( $\Omega_i \rightarrow \Omega_k$ ) anti-retrógrado, si se cumplen las condiciones:

La opción de desarrollo final en la nueva área es caracterizada por el aumento de valores de potencial y condiciones.

$$y_{+\infty}(\Omega_k) > y_{+\infty}(\Omega_i)$$

Para el caso  $\uparrow\uparrow\uparrow$  entonces

En la primera manera de transición, el incremento necesario delta t de para el cambio de área es dado por la inecuación:

$$\Delta F > F_0 - \frac{U_0}{y_{-\infty}(\Omega_k)} \quad \Delta U = 0$$

En el Segundo caso ( $\Delta F=0$ ) la siguiente inecuación debe mantenerse

cierta: 
$$\Delta U > F_0 \cdot y_{-\infty}(\Omega_k) - U_0$$

### 7.3.3 Clasificación de sistemas en base a sus propiedades de evolución

La secuencia de las opciones de desarrollo caracteriza las propiedades de evolución de un sistema.

Los sistemas con propiedades de evolución similares se llaman sistemas un-tipo. Cada tipo de sistema conforma a un cierto método de descomposición un conjunto  $y > 0$  en subconjuntos  $y_{A(i)}^{(k)} < y < y_{A(n)}^{(m)}$

Para describir el método de descomposición es suficiente listar las opciones de desarrollo del sistema con y ascendente.

En general todo tipo de sistema tiene un conjunto correspondiente de opciones.

Si se escoge todo el conjunto ordenado de opciones

$$\bar{\Xi}_{\uparrow\uparrow\uparrow}, \bar{\Xi}_{\uparrow\uparrow\downarrow}, \bar{\Xi}_{\uparrow\downarrow\downarrow}, \bar{\Xi}_{\downarrow\downarrow\uparrow}, \bar{\Xi}_{\downarrow\downarrow\downarrow}, \bar{\Xi}_{\downarrow\uparrow\uparrow}$$

Que corresponden a las ecuaciones de evolución.

Las 6 opciones de desarrollo pueden simplificarse partiendo de las 3 opciones básicas  $3 \equiv \bar{\Xi}_{\uparrow\uparrow\uparrow}, 2 \equiv \bar{\Xi}_{\uparrow\uparrow\downarrow}, 1 \equiv \bar{\Xi}_{\uparrow\downarrow\downarrow}$

Y luego por inversión de tiempo, se tienen otras tres opciones:

$$\bar{3} \equiv \bar{\Xi}_{\downarrow\downarrow\downarrow} \equiv \bar{\Xi}_{\uparrow\uparrow\uparrow}, \bar{2} \equiv \bar{\Xi}_{\downarrow\downarrow\uparrow} \equiv \bar{\Xi}_{\uparrow\uparrow\downarrow}, \bar{1} \equiv \bar{\Xi}_{\downarrow\uparrow\uparrow} \equiv \bar{\Xi}_{\uparrow\downarrow\downarrow}$$

Se consideran las alternativas:

1. La ecuación  $F_F(y) = k(y)$  tiene dos raíces. Tiene tres áreas de constancia de la función  $\dot{F}(t)$  conforme con las opciones de desarrollo

$$\bar{\Xi}_{**\downarrow}, \bar{\Xi}_{**\uparrow}, \bar{\Xi}_{**\downarrow}$$

2. La ecuación  $F_F(y) = k(y)$  tiene una raíz. Tiene dos áreas de constancia de la función  $\dot{F}(t)$  conforme las opciones de desarrollo.
3. La ecuación  $F_U(y) = k(y)$  no tiene raíces. La función  $U(t)$  disminuye por toda el área  $y > 0$ . Consecuentemente, tiene una sola posibilidad:
4. La ecuación  $F_U(y) = k(y)$  tiene una raíz. La secuencia de opciones de desarrollo es:  $\bar{\Xi}_{*\uparrow*}, \bar{\Xi}_{*\downarrow*}$

5. La ecuación  $F_Y(y) = k(y)$  no tiene raíces. La función  $Y(t)$  disminuye por toda el área  $y > 0$ . Solo tiene una opción de desarrollo:  $-\bar{\Xi}_{\downarrow**}$

6. La ecuación  $F_Y(y) = k(y)$  tiene al menos una raíz.

Considerando las siguientes cuatro posibilidades:

1. Opción 1 y 3.
2. Opción 1 y 4.

3. Opción 2 y 3.
4. Opción 2 y 4.

1. Ésta es la secuencia:  $\bar{E}_{*\downarrow\downarrow}; \bar{E}_{\downarrow\downarrow\uparrow}; \bar{E}_{*\downarrow\downarrow}$

2. Estas tres opciones serian las secuencias:

2.1  $\bar{E}_{\uparrow\uparrow\downarrow}; \bar{E}_{*\downarrow\downarrow}; \bar{E}_{\downarrow\downarrow\uparrow}; \bar{E}_{*\downarrow\downarrow}$  . Que en este conjunto de secuencias especialmente en la segunda de este conjunto, es en donde convendría tener el potencial VDSL, dado que se requeriría que cada vez en el tiempo existan menos condiciones que restrinjan el desarrollo del potencial, y a su vez el numero de condiciones para optimizar el potencial y.

2.2  $\bar{E}_{\uparrow\uparrow\downarrow}; \bar{E}_{*\uparrow\uparrow}; \bar{E}_{\downarrow\downarrow\uparrow}; \bar{E}_{*\downarrow\downarrow}$

2.3  $\bar{E}_{\uparrow\uparrow\downarrow}; \bar{E}_{*\uparrow\uparrow}; \bar{E}_{\uparrow\uparrow\downarrow}; \bar{E}_{*\downarrow\downarrow}$

3. Para la opción 3:  $\bar{E}_{*\downarrow\downarrow}; \bar{E}_{\downarrow\downarrow\uparrow}$

4. Para la opción 4 existen 2 opciones:

4.1  $\bar{E}_{\uparrow\uparrow\downarrow}; \bar{E}_{*\downarrow\downarrow}; \bar{E}_{\downarrow\downarrow\uparrow}$

4.2  $\bar{E}_{\uparrow\uparrow\downarrow}; \bar{E}_{*\uparrow\uparrow}; \bar{E}_{\downarrow\downarrow\uparrow}$

Si se deja que la ecuación  $F_Y(y) = k(y)$  que no tenga raíces, entonces hay solo un área de desarrollo, entonces solo las opciones 1 y 3 son posibles.

$$3; \bar{2}; \bar{3}(\bar{E}_{\downarrow\downarrow\downarrow}, \bar{E}_{\downarrow\downarrow\uparrow}, \bar{E}_{\downarrow\downarrow\downarrow})$$

$$3; \bar{2}(\bar{E}_{\downarrow\downarrow\downarrow}, \bar{E}_{\downarrow\downarrow\uparrow})$$

Si la ecuación  $F_Y(y) = k(y)$  tiene una raíz, entonces existen 2 áreas de desarrollo, la función  $y(t)$  aumenta dentro de la primer área, pero decrece dentro de la segunda área, entonces solo 7 tipos de sistemas son posibles:

1.  $\bar{1}; \bar{3}; \bar{2}; \bar{3}(\bar{E}_{\uparrow\downarrow\downarrow}; \bar{E}_{\downarrow\downarrow\downarrow}, \bar{E}_{\downarrow\downarrow\uparrow}; \bar{E}_{\downarrow\downarrow\downarrow})$

2.  $\bar{2}; \bar{1}; \bar{3}; \bar{2}; \bar{3}$

3.  $\bar{2}; \bar{3}; \bar{1}; \bar{2}; \bar{3}$

4.  $2;3;2;1;\overline{3}$
5.  $1;\overline{3};\overline{2}$
- 6.
7.  $2;1;\overline{3};\overline{2}$

Así que todos los sistemas (con propiedades \* y \*\*) teniendo un área de desarrollo están divididos en dos tipos, mientras que los sistemas con dos áreas de desarrollo están divididos en 7 tipos. En el tipo 1 es en donde se deberá manejar el potencial VDSL dado que en este tipo de evolución del sistema es donde se optimizara el numero de condiciones para potenciar el VDSL, es decir optimizar que hayan solo las condiciones "vitales para VDSL", y que no existan mas condiciones que condicionen el desarrollo en el tiempo que las necesarias.

Teniendo una cuota mensual de Q.1500.00 mínimo para cada usuario, proveyendo hasta 52Mbps de tasa de descarga, se puede tener una ganancia adecuada para quien tome la oportunidad de VDSL comercial, siempre con la posibilidad de lograr una expansión de llegar al hogar, donde se espera una masificación pronta ante esta nueva generación de servicios de red. Por que Q.1,500.00? Es simple, tomando las cuotas del mercado para una cantidad semejante de tasa de descarga, se puede tener una correlación con los demás parámetros que se han utilizado para este estudio, siendo la cantidad de usuarios virtuales y considerando el trafico nacional; con 50 usuarios virtuales se puede tener la ganancia de Q.75,000.00 mensuales, con lo que en un área de evolución positiva donde se puede ir disminuyendo la evolución de costos, aumentando el potencial y disminuyendo las condiciones de realización, se tendrá una curva de evolución positiva, donde día a día se pueden ir disminuyendo gastos y aumentando ganancias mensualmente, mientras se termina de masificar este proyecto, para luego establecerse en el nuevo y mas difícil mercado de conquistar: el residencial.

## CONCLUSIONES

- VDSL es la tecnología que puede proveer todos los servicios de banda ancha de nueva generación, y dado que la masificación de estos servicios es inminente y segura, VDSL es el estándar actual y previo a la nueva generación de cableado de fibra óptica.
- VDSL utiliza ATM como mecanismo de transmisión de Backbone, y ATM es el estándar actual mas utilizado debido a sus múltiples ventajas y a su compatibilidad con todos los estándares de la familia de tecnologías xDSL, contra los IPDSLAM.
- VDSL tiene alta oportunidad en el mercado global como tecnología que pueda proveer las necesidades, tanto de información como de entretenimiento y negocios de los usuarios suscriptores, de tal manera que el costo de oportunidad será el beneficio de muchos suscriptores a cambio de costos de instalación, tanto de cableado como de DSLAMs.
- La tecnología de modulación para VDSL es DMT con QAM entre sus sub-canales, y dado la nueva generación de ICs que proveen soporte a estas tecnologías, se han estandarizado estas tecnologías de modulación con chipsets, como el TNETD8000.

## Recomendaciones

- Al momento de optar por un proveedor VDSL, es importante tener en cuenta características de distancia del proveedor al suscriptor, debido a que por los mencionados problemas de atenuación de alta frecuencia, no se suele recibir el ancho de banda en su capacidad completa. Se recomienda un “barrido” espectral sobre el cobre, para analizar la respuesta en frecuencia de la planta externa.
- Se debe tomar en cuenta que los mecanismos de modulación. Para VDSL son técnicas matemáticas implementadas electrónicamente, por medio de ICs como el mencionado TNDET8000, lo que establece una clara relación matemática y electrónica en el desarrollo de la tecnología.
- Si se opta por implementar VDSL comercial, se debe tener en cuenta los costos de oportunidad, lo que se tiene como tarifa actual, lo que establecería como tarifa, y la comparación con otros sistemas dada la masificación de ésta tecnología.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarado, Juan David. *Criterios para el diseño de una red de transporte de banda ancha*. Trabajo de tesis presentado para la Universidad de San Carlos de Guatemala, Mayo 2001. Páginas investigadas: 53-60.
2. IEC. Consorcio Internacional de Ingenieros. *VDSL. Tutorial en línea*. [www.iec.org](http://www.iec.org). 2005.
3. IEC. Consorcio Internacional de Ingenieros. *FSAN (full-service access network)*. Tutorial en línea [www.iec.org](http://www.iec.org). 2001.
4. Ildelfonso M. Polo. *VDSL Nuevos retos para planta externa*. Director de Marketing Asia & Latinoamérica, Octubre 2003.
5. Kevin Foster. *Escenarios de despliegue y estándares para VDSL*. Workshop de VDSL y el espectro de Radio, 16 de enero del 2001, centro de conferencias DTI, Londres.
6. Martin De Prycker. *Asynchronous transfer mode*. 3ª edición. Prentice-Hall. 1995. p. 343-360.
7. Neal J. King. VDSL modulation report. Tecnologías Infineon. [www.dslprime.com/News\\_Articles/a/VDSL/vdsl.html](http://www.dslprime.com/News_Articles/a/VDSL/vdsl.html)

8. Panko's *Business Data Networks and Telecommunications*, 5th edition. Copyright 2005 Prentice-Hall. Presentaciones de power point N5C02-PPT-N5C17-PPT.
9. Ryutaro, Kawamura. *Architectures for ATM network survivability and their field deployment*. [www.ieee.org/iexplore](http://www.ieee.org/iexplore). Publicación 3er simposio ATM para IEEE. 1998.
10. Steven Haas. *VDSL para cableado de cobre*. Estudio realizado por Ingenieros de Infineon. 7 de noviembre del 2001.
11. Tse Fu H. Wong, Senior System Engineer, [tsefu.wong@tellabs.com](mailto:tsefu.wong@tellabs.com). *ACCESSMAX TELLABS 1000*. Presentación power point capacitación Tellabs 2006.
12. Universidad de New Hampshire. *Simulación MCM*. Trabajo de investigación del laboratorio realizado por esta Universidad en 2004.

## ANEXO I

### Glosario de Términos

- APON (ATM passive optical network): este fue el primer estándar de PON, usado principalmente para aplicaciones de negocios, y lógicamente basado en ATM.
  
- PON: es una arquitectura de red punto a multi-punto, o fibra hacia las instalaciones, la cual tiene splitters ópticos, que son usados para habilitar una fibra óptica simple, para servir muchas instalaciones del usuario, típicamente de 32 usuarios. Consiste de un OLT a la oficina central y varias ONU cerca de los usuarios finales, y esta configuración reduce la cantidad de fibra y la cantidad de equipo utilizado en la oficina central, comparado con las arquitecturas punto a punto.
  
- ISI: (intersímbol interference): interferencia entre símbolos, es una forma de distorsión de una señal que ocasiona que símbolos previamente transmitidos, tengan un efecto en el símbolo actualmente transmitido.
  
- IC (integrated circuit): circuito integrado, el conocido como chip o microchip, que puede ser de silicón o de un semiconductor, que hace las veces de un circuito electrónico encapsulado.

- PSD (power spectral density): es la potencia de una señal por cada unidad de medida como una frecuencia temporal o espacial usada en el análisis de señales.
- OLT (Optical line termination) terminación de línea óptica; es el punto de entrada del proveedor de servicio de un PON.
- ONT: (Optical Network Terminal) terminal de línea óptica; es la interfase entre la línea de fibra óptica de una compañía telefónica yendo hacia un edificio y a una o mas redes cableadas de un edificio.
- ISP: (Internet service provider): se refiere a la compañía que provee el servicio de Internet a una red local, o a un suscriptor digital.
- ISDN: (integrated service data network): es una red telefónica switchheada para proveer acceso a transmisión digital sobre líneas cableadas de cobre.
- CATV: (cable televisión): es un sistema que provee televisión, radio FM y otros servicios a consumidores vía señales RF transmitidas directamente hacia los televisores del consumidor mediante fibra óptica o por cable coaxial.
- VoIP: (voice over IP): voz sobre el protocolo Internet, también llamado telefonía IP, o telefonía Internet, o teléfono banda ancha, es el ruteo de

conversaciones de voz sobre la Internet o sobre cualquier otra red basada en el protocolo Internet.

- VoDSL: (voice over DSL): es el estándar de voz para conversaciones de voz sobre una red de suscriptores digitales.
- ROIP: (radio over IP): extiende el VoIP a repetidores de radio y estaciones base.
- IPTV: (IP televisión): es el estándar para transmisión por el protocolo de Internet para televisión digital de alta definición.
- VOD: (video on demand): el video en demanda es un sistema que permite a los usuarios elegir y mirar contenido de video sobre una red como parte de un sistema de televisión interactiva.
- SC o FC/APC: conector suscriptor o FC/APC (Contacto físico de cara angular) son los conectores que cumplen con la especificación. También se han puesto en el mercado, con costo mas bajo y reflectividad baja, los EC (conector europeo). Para ambientes donde el full dúplex no es posible (alta reflectividad en las plantas del cable), el sistema de transporte APON puede también soportar la operación de 2 fibras. También puede soportar WDM (1300-1500 nm).

- RF: (radio frequency): la radio frecuencia se refiere a la porción del espectro electromagnético en donde cada onda electromagnética puede ser generada por corriente alterna alimentando una antena.
- BRI ISDN: (Basic rate interfase ISDN): es una configuración de ISDN definida por el estándar de capa física I.430 producida por la ITU, configuración que consiste en dos canales de 64Kbps (canales B) y un canal de 16 Kbps para datos (canal D). El canal B es usado por voz o datos y el D es usado para la combinación de datos, control y señalización y el X.25 networking de paquetes.
- Cable MODEM: es el servicio prestado por los operadores de CATV para acceso a Internet, mediante un MODEM (modulador, demodulador) que permite la carga y descarga de información a la Internet.
- CPA (alineamiento de fase de reloj) de 3 bit, por ejemplo, 011. Este patrón es muestreado por 8 señales de reloj, con un offset (punto muerto) de  $360/8$  grados. El centro del patrón que se busca, y el correspondiente reloj con su centro se usa para el muestreo de la información.
- TEA (dirección de habilitación de transmisión) en la dirección de recepción. Cuando un TEA cuadra con la dirección física de la unidad suscriptora, esta puede transmitir durante el tiempo (spot) de la celda asignado en la dirección de transmisión.

- PLOAM: (physical layer operation and maintenance): Las funciones de operación y mantenimiento para ATM se proveen por medio de las celdas PLOAM (Mantenimiento y operación de la capa física).
- SDH: (synchronous digital hierarchy) también conocido como un estándar SONET, (synchronous optical network), que provee tasas de transferencia de hasta 155.2Mbps.
- STM (synchronous Transmisión module) modulo de transmisión asíncrona, es la tasa de transmisión básica de SDH ITU para una red de fibra óptica que es estandarizada, como 155.52Mbps y es el equivalente de SDH de un OC-3 de SONET.
- OC-3: (Optical Carrier) son las especificaciones de transferencias para una portadora óptica.
- UTP: (Unshielded twisted pair): par trenzado sin blindaje, es el cable mas usado para el cableado de redes de computadoras.
- DMT: (Discrete multi-tone) técnica de MCM para VDSL, donde la señal portadora es enviada por muchos sub-canales, para evitar frecuencias ruidosas.
- T-1(tier 1): es un tipo de red para IP que conecta una Internet solamente por emparejamiento, básicamente de 1.544Mbps

- LAN (local area network): red de área local, se refiere a una red conectada en un área pequeña, donde se comparte información.
- WAN (Wide area network): red de área amplia, se refiere a una red estructurada y cableada de dimensión alta, por ejemplo una ciudad.
- WDM: (wavelength división multiplex): múltiplexación por división de longitud de onda, es una tecnología que multiplexa varias portadoras ópticas en una sola fibra utilizando diferentes longitudes de onda en un emisor láser para enviar diferentes señales.
- LCD (liquid cristal display): pantalla de cristal liquido, es la nueva tecnología que se utiliza para canales HDTV, en un set top box.
- Ethernet: arquitectura mas utilizada en la implementación de LAN.
- IMA (inverse multiplexing for ATM): la forma de cómo se envía la información de un usuario de hogar a la red mundial.
- HDTV: televisión de alta definición, es la nueva tecnología, utiliza transmisión digital.

- PSTN: (public switched telephone network): representa la red telefónica pública, telefonía fija y telefonía celular.
- STB: (set-top-box): es el tipo de splitter que divide la señal de televisión y de datos de Internet; es la forma de muestrear la HDTV; hace las veces de tarjeta de video de una computadora.
- GR-303/V5: protocolos de acceso en telecomunicaciones.
- DSP: (digital signal processing): es la forma de procesar señales mediante procesos para digitalización.
- TC-PAM: (Trellis Coded Pulse Amplitude modulation): técnica de digitalización de una señal mediante el muestreo de la señal, y la codificación binaria mediante niveles de amplitud.
- IFFT: (transformada inversa de Fourier): método de codificación para DMT, donde sirve como DSP para hacer muestreos en DMT.
- SONET: (synchronous optical network): estándar de transmisión de fibra óptica comparable con OC.

- DAML: (DARPA agent markup language): apunta a habilitar la nueva generación de la red, una red que mueve de simple muestreo de contenido a una red que comprenda el contenido muestreado.
- V.34: recomendación de la ITU-T para el uso de módems para la transferencia bidireccional de información.
- AWG: American Wire Gauge: Instituto Americano para la estandarización y el uso de cables y alambres.
- ITU (Internacional Telecommunications Union): instituto internacional de telecomunicaciones especializado a la estandarización de tecnologías de transmisión de datos y tecnologías.
- NID (network interface device) es el dispositivo de donde la compañía telefónica llega hasta el hogar, contiene un plug de telefono modular que funciona para hacer tests del equipo.

## Resumen

Ante la inminente masificación de los servicios de nueva generación previos a la expansión de fibra óptica hacia el hogar, se desea tener alta capacidad de transmisión/recepción de datos para poder hacer uso de funciones y servicios que requieren alto ancho de banda para poder utilizarlos, tanto como la video conferencia, VOD y otros mas, que son parte de los negocios de un mundo globalizado y de transacciones de lugares remotos. Es en esta necesidad que ha surgido el ultimo estándar de la familia DSL, el VDSL, tecnología que puede resolver este problema de carencia necesaria de ancho de banda de antiguos servicios, y sin la instalación de fibra óptica, sino mas bien con la instalación ya hecha de cobre, explotando toda la infraestructura actual para así ahorrar muchos costos de implementación, VDSL será la tecnología que soporte todos estos servicios hasta la implementación de fibra hacia el hogar.

Con la implementación de pocos gabinetes VDSL se puede cubrir el área comercial de la ciudad para proveer este servicio, con distancias de menos de 1.5Kms. para que se pueda aprovechar al máximo su potencial, se ha supuesto que teniendo 50 usuarios, se puede tener suficiente provecho como para aprovechar la oportunidad de establecer a VDSL como una tecnología capaz y suficiente para muchas empresas para poder llevar a cabo sus negocios a nivel mundial.

Mediante los estudios económicos de dinámica de potencial y de método símplex de redes, se puede contemplar la virtualidad de un proyecto ambicioso que puede ser realizado con poca cantidad de capital, dado que existen suficientes localidades e infraestructura como para poder llevar a cabo este proyecto.