

DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO DE DATOS ADSL SOBRE EL SECTOR RESIDENCIAL DE LA VIA A LA COSTA

Diana Villegas Ramos¹, José Luis Gavilanes Borrajo², Germán Vargas López³

¹ Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones 2006, email: diana.villegas.r@gmail.com

² Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones 2006, email: josegalo69@gmail.com

³ Director de Tesis. Ingeniero Eléctrico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1997, MSc Arizona State University, 2001, Profesor de ESPOL desde 2003, email: gvargas@espol.edu.ec

RESUMEN

El presente trabajo implica el Diseño de una Red de Acceso de Datos ADSL para lo cual se utiliza la Red de Cobre instalada por la empresa que brinda telefonía fija en el sector de la Vía a la Costa. Durante el desarrollo de este proyecto nos hemos enfocado en analizar el medio de transmisión empleado por la empresa telefónica basándonos en estándares ADSL. Es así como gracias a las herramientas del programa Matlab se pudo elaborar un programa para el análisis del medio de transmisión, el cual presenta el comportamiento del ruido, bits asignados y la velocidad alcanzada en el par de cobre.

Una vez analizada la capa física del sistema, nos dedicamos a la selección del equipo que será capaz de brindar el servicio. Los equipos multiplexores usados en ADSL son conocidos como DSLAM, y son los que permitirán separar en la Central Telefónica las señales de datos y de voz. Además que en el hogar del cliente será necesario un equipo conocido como MODEM ADSL.

Finalmente el análisis económico del proyecto nos indicará que éste es rentable para la empresa telefónica tradicional ya que le permite brindar un servicio de datos de buena calidad con una inversión inicial mínima.

The present work implies the Design of an ADSL Access Network which uses the copper Network already installed by the company that offers the telephone service in the sector called "via a la costa". During the development of this Project we have focused in analyzing the mean of transmission used by the telephone company, for this we have based on ADSL standards. Thanks to the tools of Matlab we could elaborate a program for analyzing the mean of transmission, which displays the behavior of the noise, number of bits assigned and the speed reached on copper.

Once analyzed the physical layer of the sistem, we made the selection of the equipment that will be able to offer the service. The multiplexor equipments used in ADSL are the DSLAMs and they split the voice and data signals at the Central Office. Also at the client's home is necessary an equipment known like ADSL MODEM.

Finally the economic analysis of the project will show that this one is profitable for the tradicional telephone company since allows to offer a good quality data service with a minimum initial investment.

INTRODUCCION

El servicio de Internet en los últimos años ha experimentado grandes avances tecnológicos que no solamente permiten enviar e-mails y navegar por páginas de Internet en busca de información que fue su objetivo inicial. Ahora las actividades que se pueden realizar en Internet son variadas, y requieren de mayor velocidad de conexión para mantener su calidad. Para poder satisfacer todas estas necesidades el acceso a Internet necesita tener una conexión de banda ancha, y ya no solo el acceso telefónico inicial de 56 Kbps. Este tipo de acceso en nuestro país está siendo implementado paulatinamente, sin embargo las velocidades que se ofertan actualmente comparadas a las que se ofrecen en otros países son bajas.

ADSL al ser una tecnología que permite el acceso a Internet con banda ancha, es la mejor alternativa que tiene una empresa de telefonía tradicional para poder brindar un servicio que esté al mismo nivel de los que ofrecen actualmente otras empresas. Además, la implementación de esta tecnología no requiere de mayor inversión en la planta externa ya que ésta está instalada en su totalidad para el servicio telefónico tradicional.

El estado de la planta externa en este caso es sumamente importante, puesto que se utiliza el par de cobre como medio de transmisión, por este motivo es necesario analizar hasta qué velocidades se pueden transmitir por el mismo y de este modo determinar qué tipos de servicio ADSL se pueden ofrecer. La determinación de los equipos que irán en la central telefónica y en el hogar del usuario final se hacen en base a las diferentes velocidades que se ofrecerán a los clientes, ya que en el mercado existen equipos que brindan velocidades mayores a 8 Mbps en el Downstream pero que no serían explotados al máximo puesto que en el análisis del par de cobre instalado en la vía a la costa solamente se puede llegar a una velocidad de 7.7 Mbps en el mejor de los casos. El diseño de la red ADSL comprende la interconexión entre el usuario final y la central telefónica, en donde las señales de voz y datos ADSL se separan. De aquí en adelante los datos se tienen que transmitir al backbone de un carrier que es el que dará la salida a Internet.

Todo este análisis se complementa con un análisis de mercado el mismo que sirve de base para la cuantificación de los equipos que se necesitarán para poner en marcha la red, lo que a su vez nos permite saber cuál es el valor de la inversión inicial del proyecto.

TECNOLOGIA ADSL

ADSL son las iniciales de Asymmetric Digital Subscriber Line, Línea de Abonados Digital Asimétrica, y pertenece a la familia de tecnologías XDSL. Es una tecnología de acceso que transforma las líneas telefónicas o el par de cobre del abonado en líneas de alta velocidad permanentemente establecidas, que puedan conectar simultáneamente el servicio POTS (teléfono tradicional) y el servicio de Datos (Internet) [2].

Esta técnica permite la transmisión de datos a mayor velocidad en un sentido que en el otro, esta característica es la que le da nombre al servicio ADSL. Típicamente 2 megabits/segundo hacia el usuario (downstream) y 300 kilobits/segundo desde el usuario (upstream). Para conseguir las velocidades especificadas, es necesario el empleo de modulaciones o códigos de línea de alta capacidad y eficiencia. ADSL emplea dos tipos de estándares de codificación los de portadora simple CAP (Carrierless Amplitude and Phase) y los de portadora múltiple DMT (Discrete Multitone). Este último es superior al CAP, al alcanzar mayores tasas de velocidad con mayor eficiencia espectral, que se traduce en más alcance para la misma velocidad, o más velocidad para el mismo alcance. Pero añaden el coste de una mayor complejidad tecnológica y de equipos. Todo eso hizo que los sistemas CAP se impusieran en el mercado, aunque en la actualidad los sistemas DMT se están desplegando en mayores volúmenes para ADSL.

Pese a las ventajas que presenta ADSL, como estándar principal de XDSL, también es un sistema altamente limitado, por el medio en el que se implementa. Posee una gran limitación en el alcance y tipos de bucle. El objetivo de los sistemas ADSL es llegar a la mayor parte de los abonados dentro del Área de Servicio. Los efectos de desarrollar tecnologías sobre un medio pensado inicialmente para voz, desencadena un gran número de problemas, como a nivel físico, con empalmes de pares con distinto calibre, derivaciones sin terminar, o cables dañados producen reflexiones y reducción de la SNR de las señales.

Existen además gran número de fenómenos de ruido asociados como el ruido de fondo, ruido impulsivo, interferencias electromagnéticas de otras fuentes, diafonía entre pares y entre las señales bidireccionales, etc. Todo ello obliga a los estándares ADSL a tener que buscar todo tipo de herramientas con el fin de evitar esta problemática de transmisión.

ANÁLISIS DEL BUCLE DE ABONADO

La planta externa de una central telefónica comprende el enlace desde la central telefónica hasta los usuarios finales. Está conformada por: los puntos de verificación de la planta externa (MDF), el segmento de red primaria (desde los puntos de conexión del MDF del lado de la calle hasta los armarios), el segmento de red secundaria (desde los armarios hasta las cajas de dispersión) y el segmento de dispersión (desde las cajas de dispersión hasta el punto de conexión en la casa del abonado).

En el presente trabajo hemos analizado el par de cobre utilizado para brindar el servicio telefónico en la vía a la costa. Mediante las herramientas de Matlab se elaboró un programa que nos permite obtener el comportamiento del medio de transmisión para diferentes escenarios.

Factores que afectan el desempeño del Canal de Transmisión de ADSL

La principal limitante al momento de implementar ADSL es la longitud del par de cobre (desde la central telefónica hasta el usuario final), puesto que la señal tiende a atenuarse demasiado a distancias mayores a 5 Km. Además está directamente relacionada a la frecuencia, así como también a la Resistencia, Capacitancia e Inductancia del par de cobre, cuyos valores también varían dependiendo del grosor del cable, en nuestro caso el cable utilizado es de 0.4mm (26 AWG). A frecuencias bajas la atenuación será menor que a altas frecuencias. Además es necesario tomar en cuenta la presencia de empalmes en la línea ya que éstos introducen mayor atenuación. En la planta externa del sector de la vía a la costa se determinaron todas las distancias desde la central telefónica hasta las cajas de dispersión. Se obtuvo la siguiente gráfica en donde se presentan las curvas de atenuación para la distancia más larga de cada armario de la red.

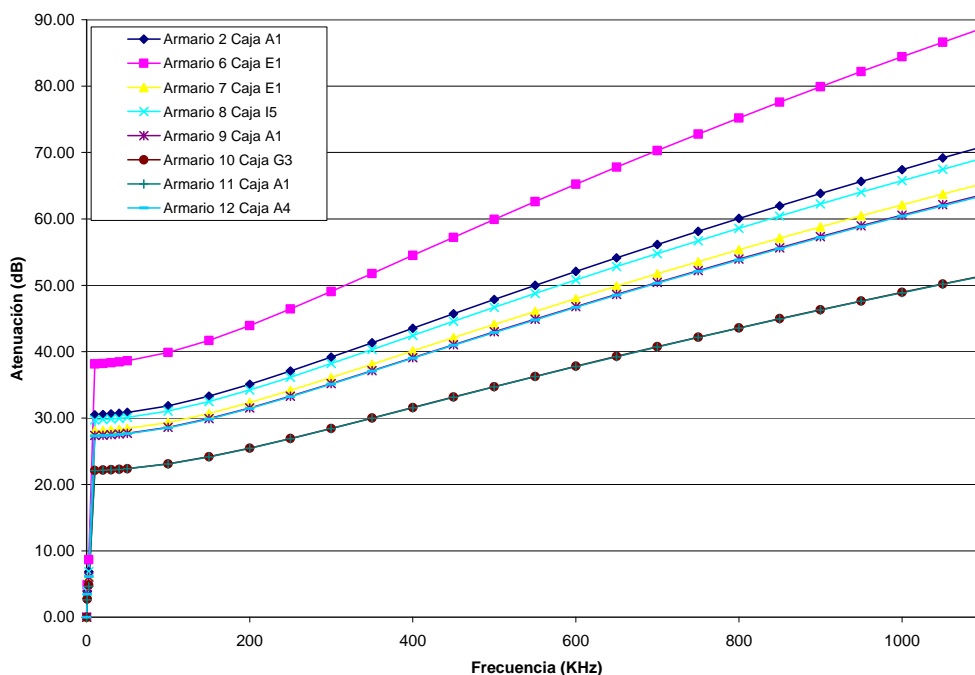


Figura 1. Valores de Atenuación más altos para cada Armario de la Central

El medio también es sensible a diferentes tipos de ruido como interferencia (NEXT y FEXT), ruido blanco gaussiano (RBG) y ruido residual de eco (RRE). De todos ellos el que tiene mayor impacto

es el NEXT (interferencia cercana, Near-End Crosstalk) seguido del FEXT (interferencia lejana, Far-End Crosstalk), RRE y RBG.

El NEXT y el FEXT vienen dados por las ecuaciones 1 y 2 respectivamente. Son dependientes de la frecuencia y el FEXT además de la longitud del par de cobre y de la función de transferencia del canal. Por ello el comportamiento dentro del ancho de banda del cobre es variable. ADSL divide el canal de 1.104 MHz en 256 subportadoras de 4 KHz cada una. Las 6 primeras subportadoras son para el servicio telefónico, las 25 siguientes para el tráfico ascendente y las 224 restantes para el tráfico descendente. Como es de esperarse el mayor problema se presenta en las subportadoras que están en las frecuencias más altas y cuando la longitud del par de cobre se incrementa. Además el número de pares interferentes n también incide en el incremento de la interferencia.

$$|H_{NEXT}|^2 = x_n \times f^{3/2} \quad \text{Para } 0 \leq f < \infty, n < 50$$

Ecuación 1: Función de Transferencia de Potencia NEXT [3]

$$|H_{FEXT}(f)|^2 = |H_{canal}(f)|^2 \times k \times l \times f^2 \quad \text{Para } 0 \leq f < \infty ; n < 50$$

Ecuación 2: Función de Transferencia de Potencia del FEXT [3]

El RBG se fija para sistemas ADSL en -140 dBm/Hz y el RRE en -110 dBm/Hz. Estos tipos de ruido se consideran despreciables en ambientes dominados por el NEXT y el FEXT, sin embargo es necesario considerarlos cuando los valores de éstos disminuyen.

Con todas estas consideraciones se obtuvo el ruido para el canal downstream (el más afectado por el ruido) y el upstream para diferentes escenarios.

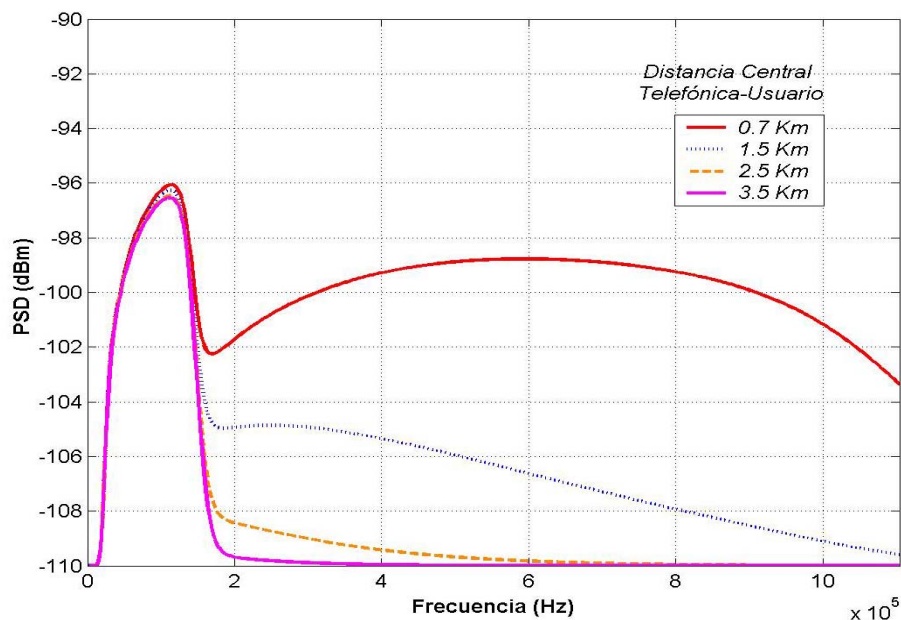


Figura 2: PSD Total del Ruido para el Downstream (NEXT, FEXT, RBG y RRE) para diferentes longitudes de línea con 9 pares interferentes.

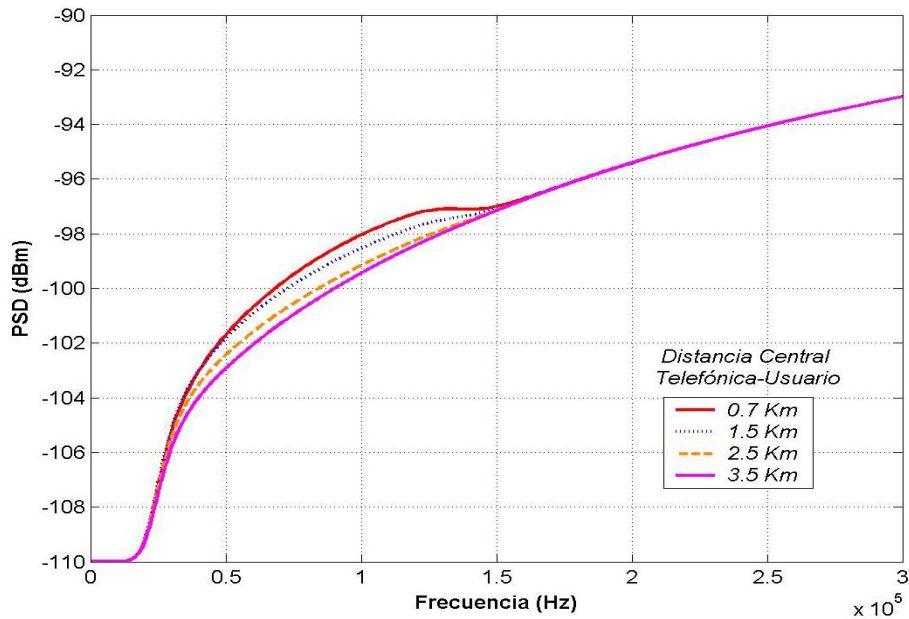


Figura 3: PSD Total del Ruido para el Upstream (NEXT, FEXT, RBG y RRE) para diferentes longitudes de línea con 9 pares interferentes.

Capacidad Real del Canal

Para calcular la capacidad real del canal nos basamos en el teorema de Shannon para lo cual necesitamos la PSD obtenida con el programa de Matlab. Sin embargo como se observó en las figuras 2 y 3 la PSD no es constante dentro del intervalo de frecuencia. Este problema se resuelve trabajando dentro de cada subportadora, donde los valores de PSD permanecen casi lineales en cada subcanal, Pudiendo entonces tomar el valor de PSD en la frecuencia central y asumir que, dentro del ancho de banda de 4KHz asignado a cada subportadora, es constante (solo para facilitar el cálculo y asumiendo que el error no es considerable). De este modo podemos calcular la capacidad total del canal haciendo una sumatoria de todas las subportadoras (cada subportadora puede transmitir de 2 a 15 bits)

Sin embargo, el problema fundamental es que siempre el modelo matemático asumido para representar los fenómenos es “relativamente” ideal. Es decir, no se consideran ciertas imperfecciones que pudieran haber por desacople de líneas, mal contacto entre conexiones de líneas y los dispositivos pasivos (o cajas de empalmes) a lo largo del recorrido, calidad de la línea, mantenimiento de la línea, etc. Todo esto sumado, al final podría verse algo alejado de la realidad. Por ello es necesario agregar un dato más al tradicional teorema de Shannon para obtener la capacidad del canal en ADSL. Este dato es una constante adimensional denominada “GAP” (γ) que es un factor que se añade al teorema de Shannon y que toma en cuenta el BER, un Margen de Holgura y una Ganancia por Codificación [4]. El BER que utilizamos es el mismo recomendado por el estándar ANSI T1.413 [5] que es 10^{-7} . El Margen de Holgura se refiere a cuantas veces se debe elevar los niveles de Crosstalk y de ruido para lograr una cierta holgura en la predicción del peor escenario en el que se montará el sistema. Este valor es aceptado como 6dB (es decir 4 veces más Crosstalk y ruido). La Ganancia por Codificación es el originado por la implementación de códigos para detección y corrección de errores (Reed-Solomon FEC) y modulación por codificación Trellis (TCM). Este valor de ganancia de codificación es de 4dB (asumiendo el uso de FEC y TCM simultáneamente). El valor típico adimensional de gap en sistemas ADSL es: $\gamma = 14$. Por lo que tendremos que la capacidad se calcula de la siguiente manera:

$$C_{Canal} = W_{4KHz} \times \sum_{i=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{SNR(i)}{\gamma} \right) \quad [\text{bits/seg}]$$

Ecuación 3: Sumatoria de capacidad real individual de subportadoras

Se obtuvieron los siguientes resultados tanto para el canal downstream como para el upstream, considerando la distancia más larga y la más corta de la red.

Distancia (Km.)	Número de interferentes (n)	Capacidad Real (Mbps)
0,6991	9	9,872
	49	8,676
2,5826	9	3,856
	49	3,692

Tabla 1. Capacidad Real en el Canal Downstream

Distancia (Km.)	Número de interferentes (n)	Capacidad Real (Mbps)
0,6991	9	1,400
	49	1,324
2,5826	9	1,148
	49	1,032

Tabla 2. Capacidad Real en el Canal Upstream

Velocidad de Transmisión Máxima

Los resultados anteriores representan la capacidad del canal si se utilizaran todas las subportadoras, sin embargo en la práctica no se utilizan todas, puesto que se recomienda que la atenuación de la línea debe estar entre 0 y 63.5 dB, de este modo las subportadoras que tienen una atenuación mayor no transportan datos. Estas subportadoras son las que se encuentran trabajando a las frecuencias más altas. Con los valores de atenuación que se presentaron anteriormente, se tiene que para cada armario de la central telefónica las velocidades máximas de transmisión serán las siguientes:

Armario	Distancia Máxima (Km)	Frecuencia Máxima Para Transmisión (KHz)	Máxima Velocidad de Transmisión (Kbps)
1	3.918	309	860
2	2.0115	940	5,328
6	2.5826	567	2,916
7	1.7523	1043	6,340
8	2.096	1035	5,308
9	1.7406	1092	6,520
10	1.3817	1104	7,464
11	1.2297	1104	7,748

Tabla 3. Velocidades de Transmisión Máximas Alcanzadas En El Downstream

Armario	Distancia Máxima (Km.)	Frecuencia Máxima Para Transmisión (KHz)	Máxima Velocidad de Transmisión (Kbps)
1	3,918	138	792
2	2,0115	138	1.116
6	2,5826	138	1.032
7	1,7523	138	1.160
8	2,096	138	1.108
9	1,7406	138	1.164
10	1,3817	138	1.220
11	1,2297	138	1.244

Tabla 4. Velocidades de Transmisión Máximas Alcanzadas En El Upstream

DISEÑO DE LA RED

DSLAM

Es el Multiplexor de Acceso a la Línea Digital de Abonado, este equipo va instalado en la central telefónica, e integra el splitter y el ATU-C. El splitter es el dispositivo que separa la señal de voz (POTS) de la de datos y el ATU-C es la unidad de transmisión de ADSL.

Splitter

El splitter ubicado en la casa del abonado cumple las mismas funciones que el del lado central. El filtro pasa-bajos (LPF) contiene un circuito que deja pasar las frecuencias de voz y bloquea la señal ADSL. Algunos splitters pueden tener también el filtro pasa-altos (HPF) que permite el paso de las señales ADSL hacia el ATU-R. Los fabricantes de los ATU-R no deben asumir que el HPF estará implementado externamente, deben incluir en su circuito el filtro pasa-altos adecuado [6].

ATU-R

El ATU-R (ADSL Terminal Unit – Remote) es un módem, que recibe la señal ADSL proveniente del splitter y la envía a la computadora a través del puerto de red Ethernet. Como se especificó anteriormente debe incluir un filtro pasa-altos para eliminar las señales de menor frecuencia (voz).

PC

Cualquier computadora puede conectarse a Internet a través de ADSL si posee los siguientes requerimientos:

- Sistemas Operativos: Windows 98/SE/2000ME/XP; Mac OS 9 y X; Linux
- Procesador Pentium 166 MHz MMX o superior
- 32 Mbytes RAM o más
- 10 Mbytes de espacio libre en disco
- Tarjeta de Red o interfaz USB

Reflectómetro (TDR)

Este equipo es muy importante para verificar que las condiciones del par de cobre estén dentro de los parámetros normales al momento de la instalación. Una de sus usos principales es la de detectar fallas o cortes de la línea, bobinas instaladas a lo largo del cable que causen interferencia de la señal e identifica tipos de interferencia (ruido) mediante análisis del espectro.

Esquema de Interconexión

A continuación se presenta el esquema de la red de acceso ADSL, se pueden observar dos tipos de conexión en el lado del abonado (para una o varias PCs) y estas se conectan a la central telefónica a través del cable telefónico.

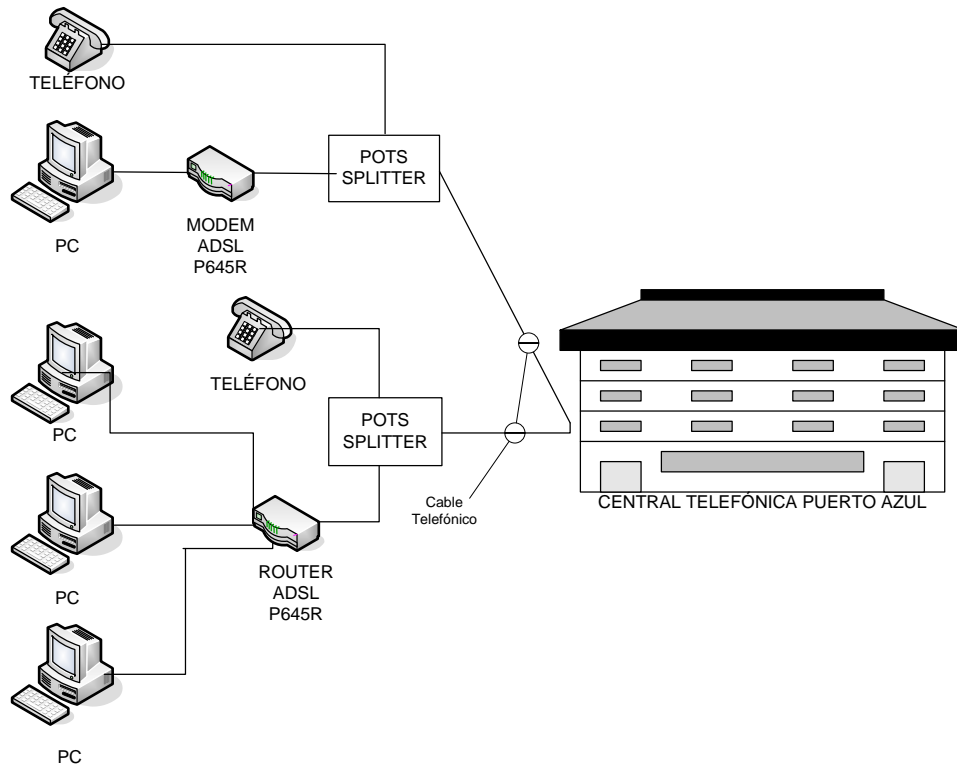


Figura 4. Esquema de Interconexión Central Telefónica – Abonados

En las instalaciones de la central telefónica se debe tener separados a los usuarios que utilizan solo el servicio telefónico POTS de los que utilizan POTS+ADSL. A continuación se presenta el esquema de las conexiones en la central.

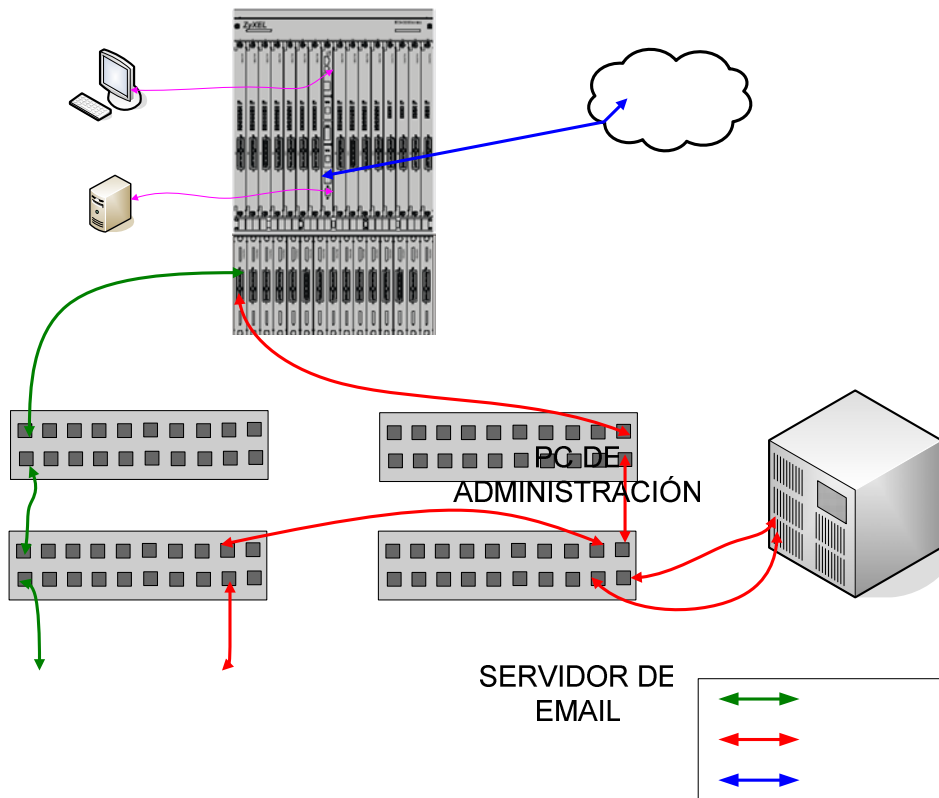


Figura 5. Esquema de cableado en el interior de la Central Telefónica

DSLAM IES-3000

EVALUACIÓN DEL PROYECTO

Todo proyecto debe ser evaluado para saber si es rentable o no. Primeramente se realizó un análisis de la demanda del servicio en el sector para los próximos 5 años, mostrando que inicialmente tendríamos unos 240 usuarios para el final del primer año de operaciones. Todo en base a datos de encuestas publicadas por la SUPTEL [7]. Sobre la demanda de servicios de banda ancha, calculamos un crecimiento del 67% anual con respecto al año anterior en cada período (es decir, se obtuvo un crecimiento geométrico) esto basándonos en datos sobre el comportamiento del mercado de Servicios de Valor Agregado [7].

En cuanto a los costos del proyecto, se tiene la inversión inicial (alrededor de \$100.000,00) y los costos mensuales de operación de la red. Junto con los ingresos por el servicio ADSL, se realizó un análisis económico para un periodo de 5 años, llegando a tener 1886 usuarios. Este análisis mostró que al tercer año se recupera la inversión inicial y se puede reinvertir en el proyecto. Con el método de TREMA se pudo determinar la factibilidad del proyecto.

CONCLUSIONES

El uso del programa de análisis matemático Matlab, en su versión 7.0, es fundamental. Gracias a su facilidad en el manejo de expresiones matemáticas complejas y sus herramientas de graficación, se ha podido estimar la capacidad del par de cobre instalado en el sector de la vía a la costa, todo esto en base a los principales tipos de ruido que afectan al canal.

Luego de haber analizado la red de cobre que está instalada en el Sector de la Vía a la Costa se determinó que efectivamente se puede ofrecer el servicio ADSL a través de la misma, ya que las distancia entre los usuarios y la Central Telefónica no es mayor a 5 Km (que es el límite

establecido por las normas) además que se obtiene una SNR aceptable que nos permite alcanzar en la mayoría de los casos velocidades que superan 1 Mbps en el canal Downstream.

El número inicial de clientes potenciales es del 67% de la demanda inicial esperada. Esto se espera debido al alto crecimiento poblacional de la zona y a que las ofertas de acceso a Internet de banda ancha del sector son pocas. Además, por datos propios de la Suptel, el mercado de acceso telefónico tradicional está migrando hacia banda ancha.

Para poder brindar el servicio ADSL sobre la red de cobre de la empresa de telefonía tradicional no se requiere hacer una inversión inicial muy grande, ya que la planta externa ya está instalada y solamente se requieren los equipos ADSL que separan la señal de voz de la de datos. Esta es una solución de gran conveniencia para las telefónicas tradicionales ya que les permite competir en el mercado con otros servicios.

REFERENCIAS

- [1] D. Villegas, J. Gavilanes, "Diseño de una Red de Acceso de Datos ADSL sobre el Sector Residencial de la Vía a la Costa". (Tesis, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2006).
- [2] DSL Fórum; "Fiber - Copper Access to the Information Highway"; http://www.dslforum.org/aboutdsl/vdsl_tutorial.html , año 2001
- [3] ANSI, Estándar T1.413 "Network and Customer Installation Services-Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) Metallic Interface", Anexo B; Diciembre 1998.
- [4] Bingham, John A. C. "ADSL, VDSL, and Multicarrier Modulation"; John Wiley & Sons, INC.; 2000.
- [5] ANSI, Estándar T1.413 "Network and Customer Installation Services-Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) Metallic Interface"; Diciembre 1998.
- [6] ADSL Forum. "Interfaces and System Configurations for ADSL: Central Office", Technical Report TR-013, Enero 1999.
- [7] Superintendencia de Telecomunicaciones del Ecuador (SUPTTEL), Estadísticas del Servicio de Internet, 2005. <http://www.supertel.gov.ec>

