



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“Usando Single Value Decomposition,
proponer una señal que permita
idealmente cancelar casi cualquier tipo de
interferencia en un canal alámbrico”**

TESINA DE SEMINARIO

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRONICA Y
TELECOMUNICACIONES**

REALIZADO POR:

**ADRIAN GABRIEL LOAIZA COLLANTES
JOAN MABEL VILLON PINEDA**

**GUAYAQUIL – ECUADOR
2011**

AGRADECIMIENTO

Al Doctor Hernán Córdova, profesor del Seminario de Graduación por su ayuda y disposición a resolver toda inquietud que se presentó en el desarrollo del proyecto, y por sus oportunos comentarios y orientación.

DEDICATORIA

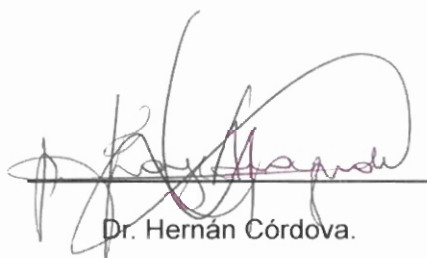
Le dedico este trabajo a Dios, nuestro padre celestial. Y a mi familia por ser mi apoyo constante durante todos estos años.

Adrian Gabriel Loaiza Collantes.

A Dios por haberme permitido terminar mi carrera, a mis Padres por tener fe en mi y apoyarme en todo momento, y a todas aquellas personas que me tuvieron paciencia y colaboraron conmigo en el proceso.

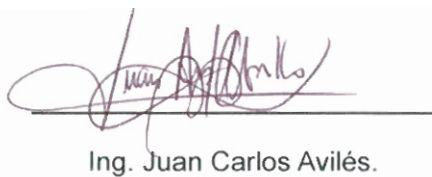
Joan Mabel Villón Pineda.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Dr. Hernán Córdova.

PROFESOR DEL SEMINARIO DE GRADUACIÓN



Ing. Juan Carlos Avilés.

PROFESOR DELEGADO DE GRADUACION

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesina de Seminario, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”.

Joan Mabel Villón Pineda.

Adrian Gabriel Loaiza Collantes.

RESUMEN

El siguiente estudio de graduación se enfoca en analizar dos métodos para cancelar los diferentes tipos de interferencias que existen en un medio de transmisión xDSL, de estos métodos el que vamos a detallar y simular en la herramienta matemática llamada MATLAB es el de Singular Value Decomposition.

El tipo de interferencia que modelamos, es el producido por el Far End Crosstalk (FEXT), que varía su magnitud de acuerdo al número de usuarios conectados y las distancia a las que los usuarios se encuentran. Para la interferencia FEXT presentamos un escenario ADSL2 con tres usuarios, los cuales serán dispuestos 500, 1000 y 1500 metros desde la Oficina Central de transmisión, estos escenarios nos mostrarán un FEXT Alto, Medio y Bajo; adicional a este tipo de interferencia también se hablará del ruido de impulso, sin embargo no se considerará su simulación.

Finalmente la solución para reducir la interferencia FEXT será presentada en el programa MATLAB, se incluirán anexos con el procedimiento usado, y los resultados obtenidos para verificar el grado de atenuación que produce la interferencia en el canal.

El documento se organiza de la siguiente manera:

En el Capítulo 1 se describe de manera general el problema y los elementos que causan la degradación de la señal. También se narra el comportamiento de los diferentes tipos de interferencias, junto con ejemplos e ilustraciones.

El Capítulo 2 hace énfasis en los conocimientos teóricos de las partes involucradas en el proyecto. Elementos, arquitectura y descripción funcional de la tecnología DSL.

En el Capítulo 3 presentaremos dos soluciones a ser aplicadas para eliminar las interferencias de tipo FEXT (tele-diafonía en español). La parte matemática de estas soluciones será estudiada en detalle para entender claramente cómo es modelado este tipo de ruido.

En el Capítulo 4 validaremos el modelo del ruido FEXT en MATLAB y simularemos las soluciones presentadas en el capítulo anterior, nuestra gráfica principal muestra los valores de capacidad para cada usuario con y sin la descomposición de la matriz de canal para poder comparar entre la capacidad del sistema sin optimizar y optimizado.

Las fuentes de donde se obtuvieron muchos de los textos se encuentran numeradas entre paréntesis y especificadas en la sección de bibliografía.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	IV
DECLARACIÓN EXPRESA.....	V
RESUMEN.....	VI
GLOSARIO DE TÉRMINOS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIII
CAPÍTULO 1.....	1
DESCRIPCION DEL PROBLEMA	1
1.1 Descripción del Problema.....	1
1.2 Definición del Problema en el Proyecto	3
1.3 Descripción del escenario	4
1.4 Modelo empírico del canal	5
1.5 Cálculo de la capacidad del canal de transmisión	8

CAPÍTULO 2.....	10
COMPRESION DE SOLUCIONES.....	10
2.1 Singular Value Decomposition.....	10
2.2 QR Decomposition	13
CAPÍTULO 3.....	16
MODELAMIENTO Y SIMULACION	16
3.1 Herramienta de simulación	16
3.2 Escenario	16
CAPÍTULO 4.....	18
ANALISIS DE RESULTADOS	18
4.1 Resultados de la Simulación	18
CONCLUSIONES.....
RECOMENDACIONES
ANEXOS
BIBLIOGRAFÍA

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AWGN	Additive White Gaussian Noise
ISI	Inter Symbol Interference
SNR	Signal-to-Noise Ratio
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PSD	PowerSpectralDensity
QAM	Modulation de amplitude en cuadratura
ZF	Zero Forcing
DSL	Digital Subscriber Lines
VDSL	Very high bit-rate Digital Subscriber Line
FDD	Frequency Division Duplexing
DS	Downstream
US	Upstream

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: ESQUEMA DE UNA RED TELEFÓNICA.....	XV
FIGURA 2 TRANSMISIÓN MIMO	1
FIGURA 3 DIFERENTES PLANES DE FRECUENCIAS.....	3
FIGURA 4 TRANSMISION SECUENCIAL SIMO CON UN SOLO TRANSMISOR ACTIVO (TX) POR SECUENCIA DE ESTIMACIÓN $M = 1,2,\dots,U$	4
FIGURA 5: DISTANCIAS DE ACOPLAMIENTO	6
FIGURA 6 PSD DOWNSTREAM PARA ADSL2.....	9
FIGURA 7: DECISION FEEDBACK	13
FIGURA 8 ESCENARIO DE SIMULACIÓN	17
FIGURA 9 CAPACIDAD DE LOS USUARIOS SIN SVD	18
FIGURA 10 CAPACIDAD DE LOS USARIOS CON SVD	19

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 PARÁMETROS DEL CABLE SEGÚN EL TIPO	5
TABLA 2 CAPACIDAD SIN SVD	19
TABLA 3 CAPACIDADES CON SVD.....	20

INTRODUCCIÓN

El propósito de este proyecto es presentar información sobre DSL (Digital Subscriber Line) y de cómo mitigar sus diferentes tipos de interferencias. La información para la presente introducción fue extraída del informe "A VDSL Tutorial" [1].

Desde que Graham Bell inventó el teléfono en 1875, las redes telefónicas han crecido continuamente en todo el mundo. Esta infraestructura representa una enorme inversión de capital, y las compañías telefónicas alrededor del mundo son conscientes de este valioso activo. Esto ha motivado la búsqueda de soluciones técnicas que permitan utilizar la red telefónica existente para comunicaciones de alta velocidad. La diferencia entre Digital Subscriber Line (DSL) y una conexión de modem tradicional es que DSL tiene módems especialmente diseñados para comunicación digital de alta velocidad en ambos extremos de la línea. Finalmente a todos nos gustaría tener una conexión FTTH (fiber to the home) para satisfacer la demanda cada vez mayor de tasa de bits. Pero antes de que las soluciones utilizando fibra hasta la casa estén disponibles y bajen de costo, las redes de telefonía ordinarias pueden proporcionar conexiones de alta velocidad económicas a través de xDSL (Digital Subscriber Line).

Frecuentemente la "red integrada de servicios digital"(ISDN por sus siglas en inglés) es considerado como el primer sistema DSL, el cual nos proporcionaba una tasa de bits simétrica de 128 kbits/s, es decir 128 kbits/s en ambas direcciones, tanto en el upstream (hacia la oficina central) como en el downstream(hacia el abonado). El siguiente estándar en aparecer fue high-bit-rate digital subscriberline (HDSL), el cual proporcionaba una conexión simétrica con mayor tasa de bits. HDSL puede ofrecer una tasa de bits de 1536 kbits/s en los Estados Unidos y 2048 kbits/s en Europa. Las tasas de bits simétricas en estos rangos permiten realizar videos conferencias de buena calidad y otros servicios que requieren una tasa de bits elevada en

dirección de upstream. Cuando la tasa de bits en dirección de upstream es mayor que la tasa de bits en dirección de downstream, se denomina asymmetric digital subscriber line (ADSL). ADSL es utilizado en aplicaciones como video sobre demanda, juegos en red, navegación en internet entre otras aplicaciones, donde la mayor parte de datos viajan desde la oficina central hacia el abonado. El existente estándar para ADSL soporta tasas de bits de 64 a 8000 kbits/s en downstream y de 32 a 800 kbits/s en el upstream. Finalmente tenemos el estándar very-high-speed digital subscriberlines (VDSL), el cual soporta tasas de datos simétricas y asimétricas, logrando así velocidades superiores a 52 Mbits/s.

Algunos factores importantes para considerar en la red de acceso son: el tipo y calidad de los cables, longitud de los cables y topología de la red.

Como el despliegue de la red telefónica ha tomado lugar durante varios años, la calidad y topología de la red difiere entre países y entre regiones. Generalmente la calidad de la red es mucho mejor en países que desarrollaron sus sistemas telefónicos más tarde; debido a que la longitud promedio de los cables es menor y las características de transmisión frecuentemente son mejores. La longitud de un cable es un factor muy importante debido a que largos cables atenúan más la señal, lo que nos da como resultado una menor capacidad de tasa de bits. Otras importantes propiedades de los cables que determinan las características de transmisión son: dimensión (calibre), material de aislamiento (papel, PVC, polietileno) y tipo de trenzado, las redes de acceso modernas generalmente consisten en cables de cobre unshielded twisted pair (UTP). Los pares de cobre trenzado son menos susceptibles al crosstalk y otros tipos de interferencia.

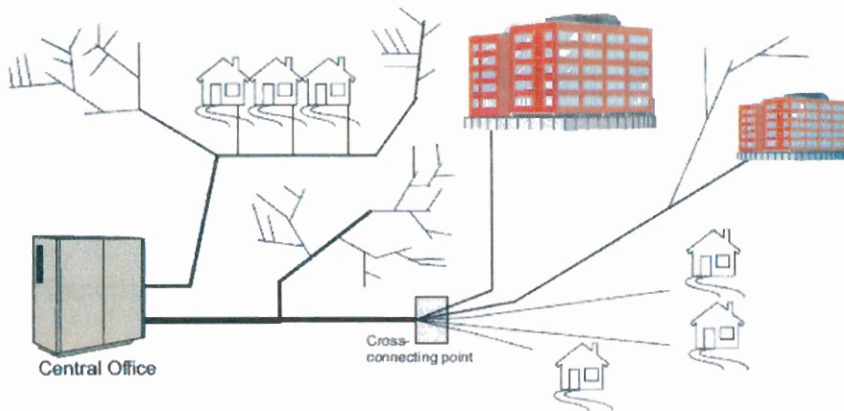


Figura 1: Esquema de una red telefónica

Las líneas telefónicas empiezan en la Oficina Central (CO) o en un pequeño Intercambiador Local (Ex). Una gran Oficina Central puede proveer del servicio a más de 100,000 clientes. Los pares de cables individuales están trenzados en los llamados grupos de cuatro cables, o en grupos más grandes de alrededor de 10 cables en cada grupo. Los grupos de cables luego se juntan en grandes cables de 50 a 100 pares. Finalmente estos cables pueden juntarse para formar un gran cable de alimentación con varios miles de cables UTP. Como la red se expande a lo largo de una región, los grandes cables se ramifican en cables más pequeños. A lo largo de la red existen los llamados puntos de conexión, donde se realiza la conexión entre el gran cable de alimentación y los pequeños cables de distribución. Los puntos de conexión residen frecuentemente en pequeños distribuidores en las calles. El calibre de los cables frecuentemente cambia en un punto de conexión, donde pequeños calibres son utilizados cerca de la oficina central para que los cables grandes sean más fáciles de manejar, mientras que grandes calibres se encuentran cerca del cliente. La mayor parte de la red es enterrada en el suelo, especialmente los cables de alimentación. Aunque también se utilizan cables aéreos, los cuales se distribuyen cerca de los abonados.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Descripción del Problema

Digital subscriber line (DSL) comprende un estándar de transmisión de datos, que presenta un creciente interés debido a que puede ser implementado en las líneas de abonado de la red telefónica básica. Sin embargo este sistema es afectado por distintos tipos de interferencias entre las cuales tenemos radio frecuencia, crosstalk (diafonía), ruido de impulso entre otros, por lo tanto es necesario mitigar estos tipos de interferencias con el fin de evitar la disminución de la capacidad del sistema y así suplir con la exigente demanda de alta velocidad por parte de los abonados.

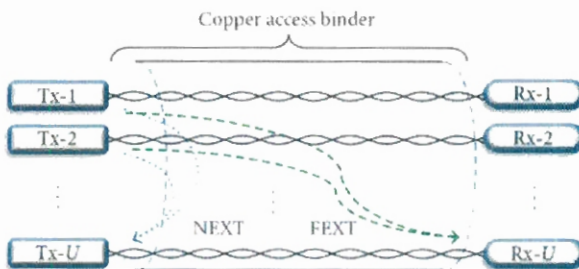


Figura 2 Transmisión MIMO

El crosstalk se debe a que varios cables *unshielded twisted pair* (UTP) están empaquetados en cables más gruesos, lo que produce que parte de la señal que viaja por uno de los cables denominado perturbador afecte a las señales que viajan por el resto de cables [1]. El crosstalk es uno de los más importantes tipos de ruido que se debe considerar en sistemas DSL.

Existen básicamente dos tipos de crosstalk: *near end crosstalk* (NEXT) y *far end crosstalk* (FEXT). NEXT se presenta mayormente en la *oficina central* (CO), porque se observa que una señal débil de upstream es perturbada por una fuerte señal de downstream. FEXT por otro lado es la interferencia producida por una señal transmitida que afecta a otra señal que viaja en la misma dirección y se presenta en ambos extremos de la línea es decir tanto en upstream como en el downstream [1] [2].

El ruido impulso se produce por cambios repentinos de voltaje producido por motores, electrodomésticos, elevadores, iluminación fluorescente entre otros. El principal problema del ruido impulso es el comportamiento no estacionario de las fuentes que generan dicha interferencia, por tal razón no es posible definir la *densidad espectral de potencia* (PSD) y la *función densidad de probabilidad* [1] [3].

1.2 Definición del Problema en el Proyecto

Como se mencionó en el capítulo anterior, en el sistema DSL existen muchos factores q pueden producir una disminución de la capacidad del sistema, entre los cuales tenemos el acoplamiento electromagnético también llamado crosstalk, radiofrecuencia e impulso de ruido. Sin embargo el objetivo de éste estudio es analizar el efecto del crosstalk en el sistema DSL, así como de proponer soluciones q permitan un mejor rendimiento del sistema.

El tipo de interferencia q vamos a eliminar es el crosstalk, como se mencionó anteriormente existen dos tipos de crosstalk, la paradiafonía o *near end crosstalk* (NEXT), y telediafonía o *far end crosstalk* (FEXT). Existe una técnica llamada FDD (Frequency division duplexing), que separa las frecuencias de downstream y upstream para evitar interferencias de tipo NEXT [2] [4], en la figura 3 se observan los diferentes bandas de frecuencias en Upstream y Downstream, por tal motivo nos enfocaremos principalmente en la eliminación del FEXT.

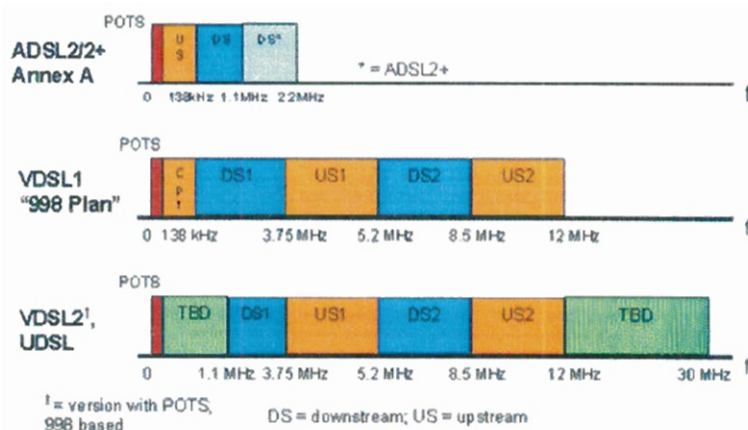


Figura 3 Diferentes Planes de Frecuencias

A continuación se presenta una descripción general del escenario en el cual se desarrolla el sistema DSL, dicha información es extraída del paper “*crosstalk channel estimation via standardized two port measurements*” [5]; ya descrito el escenario se procederá a medir el crosstalk (diafonía) presente en los canales de transmisión.

1.3 Descripción del escenario

El sistema de transmisión a usarse es de tipo SIMO (single input multiple output), con tecnología DSL, el sistema es afectado por las interferencias de tipo NEXT y FEXT, las cuales causan disminución en la capacidad del sistema, se debe acotar que el grado en que afecta este tipo de interferencias aumentan directamente proporcional a la frecuencia, y por ende el plan de bandas DSL que se use puede generar una interferencia mayor si pasa de los 12 MHz.

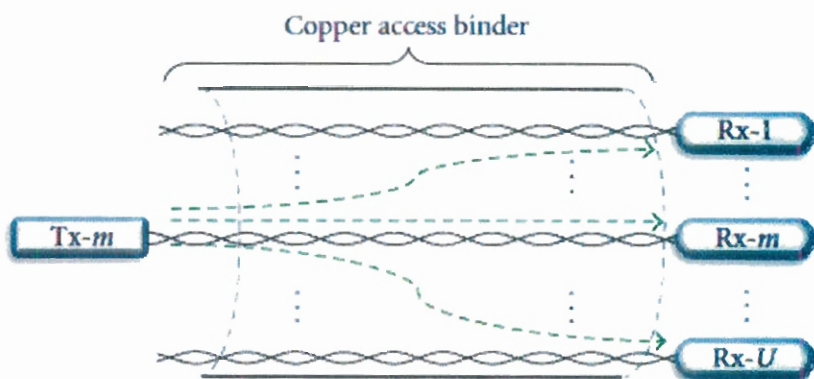


Figura 4 Transmision Secuencial SIMO con un solo transmisor activo (Tx) por secuencia de estimación $m = 1, 2, \dots, U$

1.4 Modelo empírico del canal

Tipo de cable	TP1	TP2
<i>diameter</i> (mm)	0.4	0.5
r_{oc} (Ω/km)	286.176	174.559
a_c	0.1476962	0.0530735
l_0 ($\mu\text{H}/\text{km}$)	675.369	617.295
l_∞ ($\mu\text{H}/\text{km}$)	488.952	478.971
b	0.929	1.152
f_m (kHz)	806.339	553.76
c_∞ (nF/km)	49	50
g_n (nS/km)		0.00023487
	43	5
g_c	0.7	1.38

Tabla 1 Parámetros del Cable según el tipo

Se han realizado exhaustivas mediciones para obtener el modelo de canales directos y de Crosstalk en las redes DSL. Como resultado, el canal directo de un par trenzado se puede estimar con precisión mediante un modelo RLCG [6], el cual define la resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia por cada kilómetro de para trenzado. Los modelos de R, L, C y G para el cable de cobre son:

$$R_k = (r_{oc}^4 + a_c f_k^2)^{1/4},$$

$$L_k = (l_0 + l_\infty (f_k/f_m)^b)(1 + (f_k/f_m)^b)^{-1},$$

$$C_k = c_\infty,$$

$$G_k = g_0 (f_k)^{g_g},$$

Donde $f_k = \Delta_f \cdot k$ es la frecuencia sobre el tono k en Hz, los modelos son dependientes de la frecuencia. Los parámetros r_{oc} , l_0 , l_∞ , f_m , b , c_∞ , g_0 y g_g

dependen del diámetro del cable, materiales y construcción del mismo. Los valores de estos parámetros para los tipos de cable estándar TP1 y TP2 son mencionados en la tabla 1.

La constante de propagación por unidad de longitud para el par trenzado en el tono k viene dada por la siguiente ecuación,

$$\gamma_k = \sqrt{(R_k + j2\pi f_k L_k)(G_k + j2\pi f_k C_k)},$$

La impedancia característica de la línea en el tono k es definida como,

$$Z_{0,K} = \sqrt{\frac{R_k + j2\pi f_k L_k}{G_k + j2\pi f_k C_k}},$$

La función de transferencia del canal directo para un par trenzado de longitud d en kilómetros puede ser modelado como,

$$H_K(d) = \frac{Z_L + Z_S}{Z_L \cosh(\gamma_k d) + Z_{0,K} \sinh(\gamma_k d) + Z_S Z_L Z_{0,K}^{-1} \sinh(\gamma_k d) + Z_S \cosh(\gamma_k d)},$$

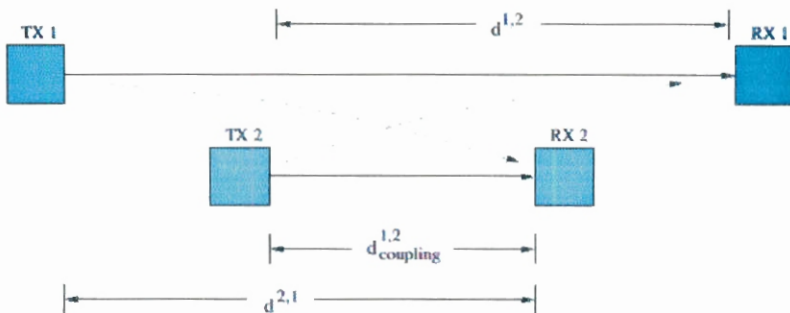


Figura 5: Distancias de acoplamiento

Donde Z_s es la impedancia de la fuente del modem transmisor y Z_L es la impedancia de carga del modem receptor.

Los modelos empíricos para los canales de Crosstalk se basan en el análisis del 1% worst-case. Así que en el 99% de los casos de este tipo de interferencia es menos grave que los modelos empíricos. Así que el modelo del peor de los casos se utiliza para garantizar que los módems operan para la mayoría de clientes.

En el modelo del 1% worst-case, la ganancia del canal de Crosstalk entre dos líneas viene dada por,

$$h_k^{n,m} = \alpha_{k,n,m} |h_k(d^{n,m})|,$$

Donde,

$$\alpha_{k,n,m} = k_{f_{ext}} (f_k / f_0) \sqrt{d_{coupling}^{n,m}},$$

Y donde $f_0 = 1\text{MHz}$ y $k_{f_{ext}} = 0.0056$, como se muestra en la figura 4 $d_{coupling}^{n,m}$ es la longitud del segmento de los cables, en la que ocurre el acoplamiento entre la línea m (perturbador) y la línea n (víctima), y es medida en kilómetros, además podemos notar que,

$$d_{coupling}^{n,m} \leq \min(d_m, d_n),$$

Donde d_n es la longitud de la línea n (víctima) y d_m la longitud de la línea m (perturbadora), por ejemplo, si el usuario n se encuentra a 500 metros y el usuario m a 1000 metros, ambos desde saliendo desde el mismo CO (Central Office), la distancia de acoplamiento sería de 500 metros que es la distancia común en la que los 2 cables están juntos. La distancia total de la fuente de

interferencia (transmisor m) a la víctima (receptor n) es $d^{n,m}$, que vendría a ser la distancia total en donde ocurre el FEXT que se observa entrecortada en la figura 4, para el ejemplo anterior sería 500 metros también. El término $h_k^{n,m}$ denota la función de transferencia para un canal de longitud $d^{n,m}$.

1.5 Cálculo de la capacidad del canal de transmisión

El enlace entre el transmisor y el receptor de un sistema de comunicaciones, incluidas las fuentes de ruido y el medio de transmisión es conocido como el canal de transmisión. La tasa límite de transmisión de información a través de un canal es conocida como la capacidad del canal.

El concepto de capacidad de un canal de transmisión se basa en el teorema establecido por C. E. Shannon. Este teorema establece que si la tasa de transmisión de información R es igual o menor que la capacidad del canal C , existe entonces una técnica de codificación que permite la transmisión de datos a través del canal.

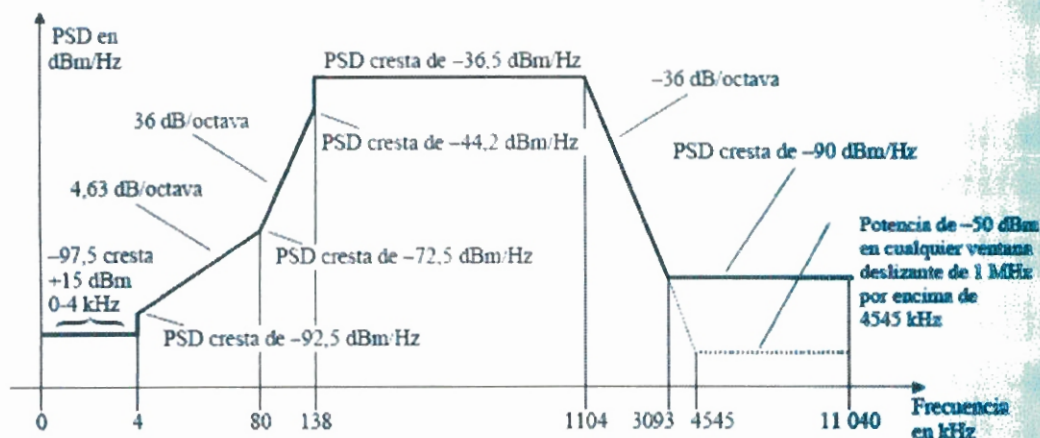
Un teorema importante en la teoría de comunicación, es el teorema de Hartley-Shannon. Esta ley establece lo siguiente [1],

$$C = B \cdot \log_2(1 + S/N),$$

Donde C representa la capacidad en bits por segundo, B es el ancho de banda del canal y S/N es la razón señal a ruido. Para obtener la contribución total de todo el espectro de frecuencias de ancho de banda del canal, se debe realizar la sumatoria de la capacidad individual de cada una de las subportadoras o tonos.

$$C_{DOWN} = B \cdot \sum_{i=33}^{255} \log_2 \left(1 + \frac{PSD_{SEÑAL}(i \cdot \Delta f) |H_{channel}(i \cdot \Delta f)|^2}{(PSD_{DSL_NEXT} + PSD_{DSL_FEXT} + AWGN) \cdot 10^{\frac{\sigma}{10}}} \right) \text{ bps}$$

De la ecuación anterior, para obtener la PSD de la señal downstream nos valemos de la información obtenida de la siguiente figura:



Banda de Frecuencias (KHz)	Ecuación para la línea (dbm/Hz)
$0 < f \leq 4$	-97.5
$4 < f \leq 80$	$-92.5 + 4.63 \cdot \log_2(f/4)$
$80 < f \leq 138$	$-72.5 + 36 \cdot \log_2(f/80)$
$138 < f \leq 1104$	-36.5
$1104 < f \leq 3093$	$-36.5 - 36 \cdot \log_2(f/1104)$
$3093 < f \leq 4545$	-90
$4545 < f \leq 11040$	-90

Figura 6 PSD Downstream para ADSL2

Para las sumatorias de FEXT de cada usuario usamos el método FSAN obtenido de la siguiente ecuación:

$$Fext_{FSAN} = \left[\sum_{i=1}^n [S_i(f) |H_i(f)|^2 n^{0.6}]^{1/0.6} \right]^{0.6}$$

Donde $S_i(f)$ es la PSD de la señal perturbadora, $H_i(f)$ es la función de transferencia del canal con $Fext$ y n es el número de usuarios perturbadores.

CAPÍTULO 2

COMPRESION DE SOLUCIONES

2.1 Singular Value Decomposition

Para lograr mitigar la interferencia producida tanto por crosstalk, existen varios métodos que podemos aplicar, sin embargo en este estudio nos enfocamos en el algoritmo SVD (singular value decomposition) y QR decomposition, mediante los cuales podemos reducir el impacto producido por estos tipos de interferencia.

Singular Value decomposition es un algoritmo que permite eliminar las interferencias causadas por crosstalk, en este caso nos enfocaremos en el FEXT (far end crosstalk), ya que el NEXT se evita mediante el uso de FDD (Frecuency división duplexing) [2] [4].

Para el uso de Singular Value Decomposition es necesario considerar que el transmisor y el receptor se encuentran co-localizados, por lo que tanto podemos decir que la transmisión y recepción pueden ser coordinadas entre los módems sobre un nivel de señal [2].

Mediante el uso de Singular Value Decomposition, descomponemos el canal en tres matrices representadas de la siguiente forma [7],

$$H_k = U_k \cdot \Delta_k \cdot V_k^H$$

Donde U_k y V_k son matrices que contienen los vectores singulares: izquierdo y derecho del canal H respectivamente. La matriz diagonal Δ_k contiene los valores singulares o eigenvalores.

Los símbolos generados por medio de la modulación QAM son representados de la siguiente forma,

$$\tilde{x}_k = [\tilde{x}_k^1 \dots \tilde{x}_k^N]^T$$

A continuación se utiliza la matriz V_k como prefiltro, con lo que podemos decir que los datos transmitidos van a ser transmitidos de la siguiente manera,

$$x_k = V_k \cdot \tilde{x}_k$$

Por lo tanto los datos recibidos serán representados de la siguiente forma,

$$y_k = H_k \cdot V_k \cdot \tilde{x}_k + z_k$$

A continuación se aplica el filtro W_k , el cual utiliza la matriz unitaria U_k y la matriz diagonal Δ_k ,

$$W_k = \Delta_k^{-1} \cdot U_k^H$$

Para estimar el símbolo recibido se establece la siguiente ecuación,

$$\begin{aligned}\hat{x}_k^n &= e_n^H \cdot W_k \cdot y_k \\ \hat{x}_k^n &= e_n^H \cdot W_k (H_k \cdot V_k \cdot \tilde{x}_k + z_k) \\ \hat{x}_k^n &= e_n^H \cdot W_k (U_k \cdot \Delta_k \cdot (V_k^H \cdot V_k) \cdot \tilde{x}_k + z_k)\end{aligned}$$

Como V_k es una matriz unitario, podemos decir que $V_k^H \cdot V_k = V_k^* \cdot V_k = I$ [7],

$$\begin{aligned}\hat{x}_k^n &= e_n^H \cdot W_k (U_k \cdot \Delta_k \cdot I_k \cdot \tilde{x}_k + z_k) \\ \hat{x}_k^n &= e_n^H \cdot \Delta_k^{-1} \cdot U_k^H (U_k \cdot \Delta_k \cdot \tilde{x}_k + z_k)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{x}_k^n &= e_n^H \cdot \Delta_k^{-1} \cdot (U_k^H \cdot U_k) \cdot \Delta_k \cdot \tilde{x}_k + e_n^H \cdot \Delta_k^{-1} \cdot U_k \cdot z_k \\ \hat{x}_k^n &= e_n^H \cdot \Delta_k^{-1} \cdot I_k \cdot \Delta_k \cdot \tilde{x}_k + e_n^H \cdot \Delta_k^{-1} \cdot U_k \cdot z_k \\ \hat{x}_k^n &= e_n^H \cdot (\Delta_k^{-1} \cdot \Delta_k) \cdot \tilde{x}_k + e_n^H \cdot \Delta_k^{-1} \cdot U_k \cdot z_k\end{aligned}$$

Como Δ_k es una matriz cuadrada, podemos decir que $\Delta_k^{-1} = \Delta_k^*$ entonces tenemos que $\Delta_k^* \cdot \Delta_k = I$ [7],

$$\begin{aligned}\hat{x}_k^n &= e_n^H \cdot I_k \cdot \tilde{x}_k + e_n^H \cdot \Delta_k^{-1} \cdot U_k \cdot z_k \\ \hat{x}_k^n &= e_n^H \cdot \tilde{x}_k + e_n^H \cdot \Delta_k^{-1} \cdot U_k \cdot z_k \\ \hat{x}_k^n &= \tilde{x}_k^n + \tilde{z}_k^n\end{aligned}$$

Donde:

$$e_n^H = [I_N],$$

donde I_N representa una matriz identidad de $N \times N$ y $\tilde{z}_k^n = e_n^H \cdot \Delta_k^{-1} \cdot U_k^H \cdot z_k$.

2.2 QR Decomposition

QR decomposition es un algoritmo que permite descomponer la matriz del canal en una matriz unitaria y en una matriz triangular superior. La descomposición de la matriz se realiza de la siguiente forma,

$$H_k = Q_k \cdot R_k$$

Donde como se mencionó anteriormente Q_k es una matriz unitaria, mientras que R_k es una matriz triangular superior [7].

QR es utilizado en el método Decision Feedback, el cual está formado por un filtro no retroalimentado denominado feed forward y un filtro retroalimentado denominado feedback; el filtro no retroalimentado convierte el crosstalk de la matriz del canal en una matriz triangular superior, por lo tanto obedece a una forma de casualidad, en sentido de que cada usuario sólo experimente el crosstalk de usuarios previos. Esto permite al decisión feedback ser usado para detectar cada usuario a la vez, antes de restar la interferencia que causan a los usuarios que permanecen sin detectarse.

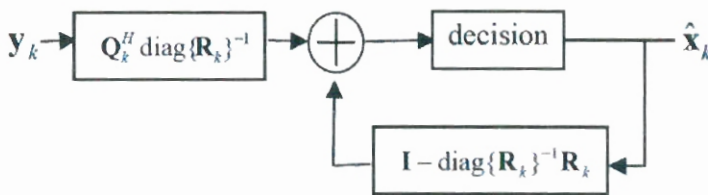


Figura 7: Decision Feedback

Para conformar el filtro forward se utiliza la matriz transpuesta conjugada o hermítica de Q_k [4] [8], la cual es representada de la siguiente forma Q_k^H , esto permite transformar los datos recibidos,

$$y_k = H_k \cdot x_k + z_k$$

En:

$$W_k = Q_k^H \cdot y_k$$

Lo que nos permite obtener la siguiente ecuación,

$$w_k = Q_k^H \cdot (H_k \cdot x_k + z_k)$$

$$w_k = Q_k^H \cdot (Q_k \cdot R_k \cdot x_k + z_k)$$

Luego de esto utilizamos la propiedad de matrices que nos indica que [7],

$$Q_k^H \cdot Q_k = I$$

$$w_k = Q_k^H \cdot Q_k \cdot R_k \cdot x_k + Q_k^H \cdot z_k$$

$$w_k = I \cdot R_k \cdot x_k + Q_k^H \cdot z_k$$

$$w_k = R_k \cdot x_k + Q_k^H \cdot z_k$$

$$\hat{x}_k^n = \left(\frac{w_k^n}{r_k^{n,n}} - \sum_{m=n+1}^N \frac{r_k^{n,m}}{r_k^{n,n}} \cdot \hat{x}_k^m \right)$$

A continuación vamos a representar matricialmente la ecuación $w_k = R_k \cdot x_k$, con el fin de obtener una ecuación general para la estimación del mensaje recibido.

$$r_k^{1,1} \cdot \hat{x}_k^1 + r_k^{1,2} \cdot \hat{x}_k^2 + r_k^{1,3} \cdot \hat{x}_k^3 + \dots + r_k^{1,N-1} \cdot \hat{x}_k^{N-1} + r_k^{1,N} \cdot \hat{x}_k^N = W_k^1$$

$$r_k^{2,2} \cdot \hat{x}_k^2 + r_k^{2,3} \cdot \hat{x}_k^3 + \dots + r_k^{2,N-1} \cdot \hat{x}_k^{N-1} + r_k^{2,N} \cdot \hat{x}_k^N = W_k^2$$

$$r_k^{3,3} \cdot \hat{x}_k^3 + \dots + r_k^{3,N-1} \cdot \hat{x}_k^{N-1} + r_k^{3,N} \cdot \hat{x}_k^N = W_k^3$$

$$r_k^{N-1,N-1} \cdot \hat{x}_k^{N-1} + r_k^{N-1,N} \cdot \hat{x}_k^N = W_k^{N-1}$$

$$r_k^{N,N} \cdot \hat{x}_k^N = W_k^N$$

Despejando la variable \hat{x}_k^N obtenemos la siguiente ecuación,

$$\hat{x}_k^N = \frac{W_k^N}{r_k^{N,N}} - 0$$

CAPÍTULO 3

MODELAMIENTO Y SIMULACION

3.1 Herramienta de simulación

La herramienta de simulación a usar es MATLAB, (abreviatura de *MATrix LABoratory*, "laboratorio de matrices") es un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Se lo usara bajo la plataforma de Windows.

Se utilizaran funciones basadas en las ecuaciones de modelación de la matriz de canal con FEXT [10], sumatoria del FEXT con FSAN, cálculo de la capacidad, y finalmente se podrecerá a descomponer la matriz de canal mediante el método matemático de descomposición de valores singulares SVD (Singular Value Decomposition) para eliminar las interferencias causadas por el FEXT, luego veremos como la capacidad para cada usuario aumenta.

3.2 Escenario

En la siguiente simulación se presentan un escenario con tres usuarios ADSL2, los cuales se encuentran distribuidos a diferentes distancias desde el CO (Central Office).

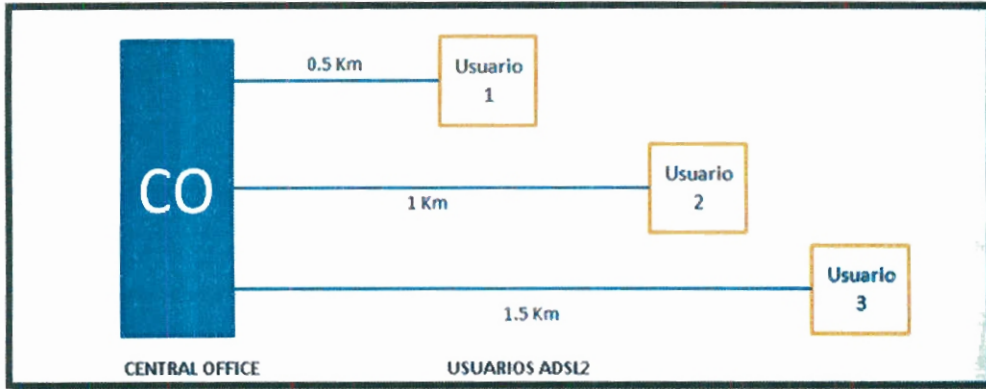


Figura 8 Escenario de Simulación

El ruido aleatorio blanco Gaussiano está siempre presente, el número de usuarios es 3 y la distancia entre usuarios es variable. Cada usuario interfiere a los demás con diferente intensidad siendo el más afectado el que se encuentra a mayor distancia por lo cual su capacidad es menor.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Resultados de la Simulación

A continuación podemos observar los resultados de la simulación al escribir la siguiente función anexada:

```
>>Capacidad_Sistema();
```

La gráfica muestra la capacidad de cada usuario en bits por segundo (bps) en el eje vertical y la distancia a la que se encuentran en el eje horizontal.

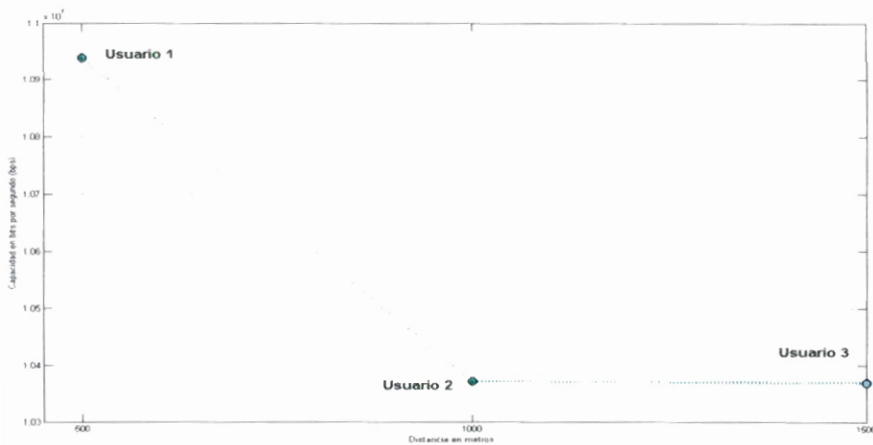


Figura 9 Capacidad de los usuarios sin SVD

En la siguiente tabla observaremos la capacidad de cada usuario observada en la gráfica:

Usuario 1	10.945 Mbps
Usuario 2	10.371 Mbps
Usuario 3	10.369 Mbps

Tabla 2 Capacidad sin SVD

Con la siguiente función descomponemos la matriz FEXT y volvemos a realizar una gráfica con los valores de capacidad:

>>Decomposition();

Al igual que la figura anterior se muestra la capacidad de cada usuario en bits por segundo (bps) en el eje vertical y la distancia a la que se encuentran en el eje horizontal.

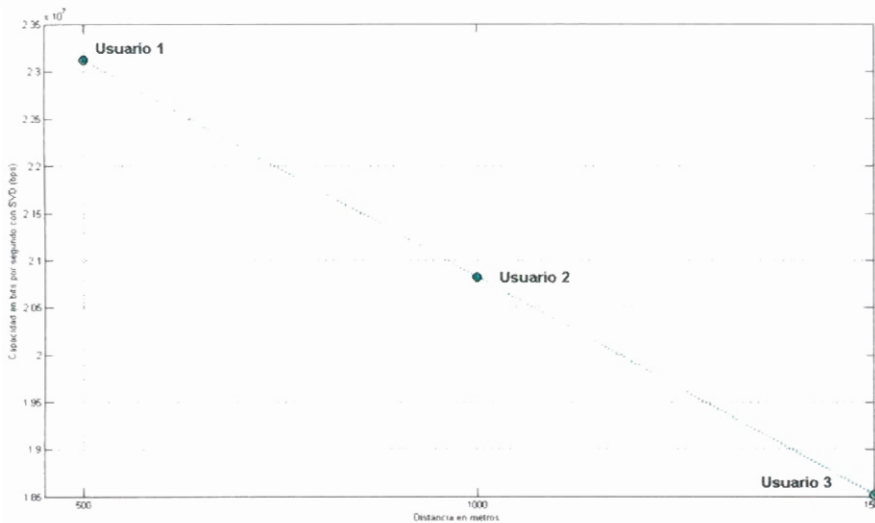


Figura 10 Capacidad de los usuarios con SVD

En la siguiente tabla observaremos la capacidad de cada usuario observada en la gráfica después de la descomposición SVD de la matriz del canal:

Usuario 1	23.10 Mbps
Usuario 2	20.82 Mbps
Usuario 3	18.53 Mbps

Tabla 3 Capacidades con SVD

La matriz de canal fext $H_{n,m}$, donde n es el receptor víctima y m es el transmisor perturbador (disturber), obtenida es la siguiente:

$H_{1,1}$	$H_{1,2}$	$H_{1,3}$	\equiv	12,84	0,0233	0,0233
$H_{2,1}$	$H_{2,2}$	$H_{2,3}$		0,0023	2,34	0,0033
$H_{3,1}$	$H_{3,2}$	$H_{3,3}$		0,0009	0,0013	1,18

CONCLUSIONES

- 1) Como se puede observar luego de aplicar SVD, la matriz de canal queda diagonalizada, lo que quiere decir que los componentes de la diagonal principal son más fuertes que los elementos del FEXT en la matriz, por lo tanto la capacidad de cada usuario aumenta.
- 2) Para el usuario 1 la capacidad aumenta de 10.945 Mbps a 23.10 Mbps, es decir, en 12.055 Mbps (110.14%).
- 3) Para el usuario 2 la capacidad aumenta de 10.371 Mbps a 20.82 Mbps, es decir, en 10.449 Mbps (100.75%).
- 4) Para el usuario 3 la capacidad aumenta de 10.369 Mbps a 18.53 Mbps, es decir, en 8.161 Mbps (78.71%).

RECOMENDACIONES

El inconveniente con el uso de SVD es que la complejidad del sistema aumenta haciéndolo más difícil de implementar por la cantidad de procesamiento que requiere para la descomposición del canal.

Se recomienda por lo tanto usar algoritmos más sencillos que no requieran de mucho procesamiento y de menor número de operaciones matemáticas.

ANEXOS

Códigos de la simulación:

```
function Cap = Capacidad_Sistema()
%Calculo de la Capacidad del Canal en ADSL2
%Con cable de 0.5 mm de polietileno

% Parametros RLCG del cable de 0.5 mm
cable=[];
cable.name='0.5 mm';
cable.param.r0c=174.559; % (Ohmios/Km)
cable.param.ac=0.0530735; % valor escalar
cable.param.l0=617.295e-6; % (microH/km)
cable.param.l00=478.971e-6; % (microH/km)
cable.param.b=1.152; %valor escalar
cable.param.fm=553.760e3; % (kHz)
cable.param.g0=0.00023487476e-9; % (nanoConductancia/km)
cable.param.ge=1.38; %valor escalar

%Parametros Electricos
%Rf=[]; %Resistencia
%Lf=[]; %Inductancia
%Gf=[]; %Conductancia
C=50e-9; %Capacitancia (nanoF/Km)

%Espaciamiento de Subportadoras
deltaf=4.3125e3; %Hz

ZL=100; %ohmios
ZS=135; %ohmios

%Ruido Blanco Gausiano
AWGN=10^(-135/10); %dBm/Hz

%Margen de Seguridad
Sig=12.75; %dB

Cdown=[]; %Inicialización de la variable Cdown para la suma de
Capacidades
           %en Downstream

%El primer "for" es para hacer el cálculo de capacidad para todas
las
%distancias comprendidas entre 10 y 2500 metros.
```

```

%El segundo "for" hace un barrido de todos los tonos de Downstream
en
%ADSL2 que comprenden desde el tono 33 al 255
for d=0.5:0.5:1.5, %Distancia en Kilometros de cada usuario
    Ctemp=0; %La suma de las capacidades temporal
    for i=33:1:255,
        f=i*deltaf; %calculo la frecuencia del tono al que se va a
obtener
            %la capacidad máxima
            %Ecuaciones de Línea para la Densidad Espectral de Potencia
            %[Khz,dBm/Hz] ADSL2
            %Gráfica de PSD (anotar número de gráfica)
            if f>0 && f<=4e3,
                PSDdown=-97.5; %dBm/Hz
            elseif f>4e3 && f<=80e3,
                PSDdown=-92.5+4.63*log2(f/4);
            elseif f>80e3 && f<=138e3,
                PSDdown=-72.5+36*log2(f/80);
            elseif f>138e3 && f<=1104e3,
                PSDdown=-36.5; %dBm/Hz
            elseif f>1104e3 && f<=3093e3,
                PSDdown=-36.-36*log2(f/1104);
            elseif f>3093e3 && f<=4545e3,
                PSDdown=-90;
            elseif f>4545e3 && f<=11040e3,
                PSDdown=-90;
            end
            %=====
            %PARAMETRO RLCG
            Rf=(cable.param.r0c^4+cable.param.ac*f^2)^.25;
            freq=(f/cable.param.fm)^cable.param.b;
            Lf=(cable.param.l0+cable.param.l00*freq)/(1+freq);
            Gf=cable.param.g0*(f)^cable.param.ge;
            %Variables para el cálculo de la función de transferencia
directa
            yk=sqrt((Rf+1j*2*pi*f*Lf)*(Gf+1j*2*pi*f*C));
            Zo=sqrt((Rf+1j*2*pi*f*Lf)/(Gf+1j*2*pi*f*C));
            %=====
            %Ecuacion para el cálculo de la funcion de transferencia Hk
            Hk=(ZL+ZS)/(ZL*cosh(yk*d)+Zo*sinh(yk*d)+ZS*ZL/Zo*sinh(yk*d)+...
                ZS*cosh(yk*d));
            %=====
            %Lo siguiente para el calculo de las distancias
            if d==0.5
                dnm=.5;
                dc1=.5;
                dc2=.5;
            elseif d==1;
                dnm=1;
                dc1=.5;
                dc2=1;
            else
                dnm=1.5;

```

```

        dc1=.5;
        dc2=1;
    end
    Hknm=(ZL+ZS)/(ZL*cosh(yk*dnm)+Zo*sinh(yk*dnm)+ZS*ZL/Zo*...
    sinh(yk*dnm)+ZS*cosh(yk*dnm));
    alfa1=0.0056*(f/1e6)*sqrt(dc1); %distancia de acoplamiento 1
    alfa2=0.0056*(f/1e6)*sqrt(dc2); %distacion de acoplamiento 2
    Hfext1=alfa1*Hknm; % Fext producido por el disturber 1
    Hfext2=alfa2*Hknm; % Fext produciaco por el disturber 2
    n=2; %numero de perturbadores (disturbers)
    fext=((10^((PSDdown)/10)*(abs(Hfext1))^2*n^0.6)^(1/0.6))+...
    (10^((PSDdown)/10)*(abs(Hfext2))^2*n^0.6)^(1/0.6))^0.6;

Ctemp=Ctemp+log2(1+10^(PSDdown/10)*(abs(Hk))^2/((fext+AWGN)*...
    10^(Sig/10)));
    end
    Cdown=[Cdown Ctemp*4000];
end
Cap = Cdown;
d=0.5:0.5:1.5;
figure(1)
plot(d,Cap,':co','LineWidth',2,'MarkerEdgeColor','k',...
    'MarkerFaceColor','g','MarkerSize',10);
xlim([0.45 1.5])
set(gca,'XTick',.5:.5:1.5);
set(gca,'XTickLabel',{'500','1000','1500'});
grid on
xlabel('Distancia en metros');
ylabel('Capacidad en bits por segundo (bps)');

%=====
%
function Hcanal = Matriz_Canal()
%Calculo de la Capacidad del Canal en ADSL2
%Con cable de 0.5 mm de polietileno

% Parametros RLCG del cable de 0.5 mm
cable=[];
cable.name='0.5 mm';
cable.param.roc=174.559; % (Ohmios/Km)
cable.param.ac=0.0530735; % valor escalar
cable.param.l0=617.295e-6; % (microH/km)
cable.param.l00=478.971e-6; % (microH/km)
cable.param.b=1.152; *valor escalar
cable.param.fm=553.760e3; % (kHz)
cable.param.g0=0.00023487476e-9; % (nanoConductancia/km)
cable.param.ge=1.38; %valor escalar

%Parametros Electricos
%Rf=[]; %Resistencia
%Lf=[]; %Inductancia

```

```
%Gf=[]; %Conductancia
C=50e-9; %Capacitancia (nanoF/Km)
```

```
%Espaciamiento de Subportadoras
deltaf=4.3125e3; %Hz
```

```
ZL=100; %ohmios
ZS=135; %ohmios
```

```
%Ruido Blanco Gaussiano
AWGN=10^(-135/10); %dBm/Hz
```

```
%Margen de Seguridad
Sig=12.75; %dB
```

```
Cdown=[]; %Inicialización de la variable Cdown para la suma de
Capacidades
```

```
%en Downstream
```

```
H=[]; %Inicialización del vector que sera usado como matriz
```

```
%El primer "for" es para hacer el cálculo de capacidad para todas
las
```

```
%distancias comprendidas entre 10 y 2500 metros.
```

```
%El segundo "for" hace un barrido de todos los tonos de Downstream
en
```

```
%ADSL2 que comprenden desde el tono 33 al 255
```

```
for d=0.5:0.5:1.5, %Kilometros
```

```
    Ctemp=0; %La suma de las capacidades temporal
```

```
    Htemp=0; %La suma de transferencias directas y fext
```

```
    Htemp1=0;
```

```
    Htemp2=0;
```

```
    for i=33:1:255,
```

```
        f=i*deltaf; %Cálculo de frecuencia del tono al que se va a
obtener
```

```
            %la capacidad máxima
```

```
        %Ecuaciones de Línea para la Densidad Espectral de Potencia
```

```
        %[Khz,dBm/Hz] ADSL2
```

```
        %Gráfica de PSD (anotar número de gráfica)
```

```
        if f>0 && f<=4e3,
```

```
            PSDdown=-97.5; %dBm/Hz
```

```
        elseif f>4e3 && f<=80e3,
```

```
            PSDdown=-92.5+4.63*log2(f/4);
```

```
        elseif f>80e3 && f<=138e3,
```

```
            PSDdown=-72.5+36*log2(f/80);
```

```
        elseif f>138e3 && f<=1104e3,
```

```
            PSDdown=-36.5; %dBm/Hz
```

```
        elseif f>1104e3 && f<=3093e3,
```

```
            PSDdown=-36.-36*log2(f/1104);
```

```
        elseif f>3093e3 && f<=4545e3,
```

```
            PSDdown=-90;
```

```
        elseif f>4545e3 && f<=11040e3,
```

```
            PSDdown=-90;
```

```
        end
```

```

=====
%PARAMETRO RLCC
Rf=(cable.param.r0c^4+cable.param.ac*f^2)^.25;
freq=(f/cable.param.fm)^cable.param.b;
Lf=(cable.param.l0+cable.param.l00*freq)/(1+freq);
Gf=cable.param.g0*(f)^cable.param.ge;
%Variables para el cálculo de la función de transferencia
directa
yk=sqrt((Rf+1j*2*pi*f*Lf)*(Gf+1j*2*pi*f*C));
Zo=sqrt((Rf+1j*2*pi*f*Lf)/(Gf+1j*2*pi*f*C));
=====
%Ecuacion para el cálculo de la funcion de transferencia Hk
Hk=(ZL+ZS)/(ZL*cosh(yk*d)+Zo*sinh(yk*d)+ZS*ZL/Zo*sinh(yk*d)+...
ZS*cosh(yk*d));
=====
%Lo siguiente para el calculo de las distancias
if d==0.5
    dnm=.5;
    dc1=.5;
    dc2=.5;
elseif d==1;
    dnm=1;
    dc1=.5;
    dc2=1;
else
    dnm=1.5;
    dc1=.5;
    dc2=1;
end
Hknm=(ZL+ZS)/(ZL*cosh(yk*dnm)+Zo*sinh(yk*dnm)+ZS*ZL/Zo*...
sinh(yk*dnm)+ZS*cosh(yk*dnm));
alfa1=0.0056*(f/1e6)*sqrt(dc1); %distancia de acoplamiento 1
alfa2=0.0056*(f/1e6)*sqrt(dc2); %distacion de acoplamiento 2
Hfext1=alfa1*Hknm; % Fext producido por el disturber 1
Hfext2=alfa2*Hknm; % Fext producido por el disturber 2
n=2; %numero de perturbardores (disturbers)
fext=((10^((PSDdown)/10))*(abs(Hfext1))^2*n^0.6)^(1/0.6)+...
(10^((PSDdown)/10))*(abs(Hfext2))^2*n^0.6)^(1/0.6);

Htemp=Htemp+Hk;
Htemp1=Htemp1+Hfext1;
Htemp2=Htemp2+Hfext2;

Cap=log2(1+10^(PSDdown/10)*(abs(Hk))^2/((fext+AWGN)*10^(Sig/10)));
Ctemp=Ctemp+Cap;
end
H=[H Htemp Htemp1 Htemp2];
Cdown=[Cdown Ctemp*4000];
end
H = abs(H);
Hcanal = [H(1) H(2) H(3); H(5) H(4) H(6); H(8) H(9) H(7)];

```

```

%=====
%
function Decomp = Decomposition()
%Calculo de la Capacidad del Canal en ADSL2
%Con cable de 0.5 mm de polietileno

% Parametros RLCG del cable de 0.5 mm
cable=[];
cable.name='0.5 mm';
cable.param.r0c=174.559; % (Ohmios/Km)
cable.param.ac=0.0530735; % valor escalar
cable.param.l0=617.295e-6; % (microH/km)
cable.param.l00=478.971e-6; % (microH/km)
cable.param.b=1.152; %valor escalar
cable.param.fm=553.760e3; % (kHz)
cable.param.g0=0.00023487476e-9; % (nanoConductancia/km)
cable.param.ge=1.38; %valor escalar

%Parametros Electricos
%Rf=[]; %Resistencia
%Lf=[]; %Inductancia
%Gf=[]; %Conductancia
C=50e-9; %Capacitancia (nanoF/Km)

%Espaciamiento de Subportadoras
deltaf=4.3125e3; %Hz

ZL=100; %ohmios
ZS=135; %ohmios

%Ruido Blanco Gaussiano
AWGN=10^(-135/10); %dBm/Hz

%Margen de Seguridad
Sig=12.75; %dB

Cdown=[]; %Inicialización de la variable Cdown para la suma de
Capacidades
    %en Downstream
H=[]; %Inicializacion del vector que sera usado como matriz

%El primer "for" es para hacer el cálculo de capacidad para todas
las
%distancias comprendidas entre 10 y 2500 metros.
%El segundo "for" hace un barrido de todos los tonos de Downstream
en
%ADSL2 que comprenden desde el tono 33 al 255
for d=0.5:0.5:1.5, %Kilometros
    Ctemp=0; %La suma de las capacidades temporal
    Htemp=0; %La suma de transferencias directas y fext
    Htemp1=0;
    Htemp2=0;

```



```

for i=33:1:255,
    f=i*deltaf; %calculo la frecuencia del tono al que se va a
obtener
                %la capacidad máxima
%Ecuaciones de Linea para la Densidad Espectral de Potencia
% [Khz,dBm/Hz] ADLS2
%Gráfica de PSD (anotar número de gráfica)
if f>0 && f<=4e3,
    PSDdown=-97.5; %dBm/Hz
elseif f>4e3 && f<=80e3,
    PSDdown=-92.5+4.63*log2(f/4);
elseif f>80e3 && f<=138e3,
    PSDdown=-72.5+36*log2(f/80);
elseif f>138e3 && f<=1104e3,
    PSDdown=-36.5; %dBm/Hz
elseif f>1104e3 && f<=3093e3,
    PSDdown=-36.-36*log2(f/1104);
elseif f>3093e3 && f<=4545e3,
    PSDdown=-90;
elseif f>4545e3 && f<=11040e3,
    PSDdown=-90;
end
%=====
%PARAMETRO RLCG
Rf=(cable.param.r0c^4+cable.param.ac*f^2)^.25;
freq=(f/cable.param.fm)^cable.param.b;
Lf=(cable.param.l0+cable.param.l00*freq)/(1+freq);
Gf=cable.param.g0*(f)^cable.param.ge;
%Variables para el cálculo de la función de transferencia
directa
yk=sqrt((Rf+1j*2*pi*f*Lf)*(Gf+1j*2*pi*f*C));
Zo=sqrt((Rf+1j*2*pi*f*Lf)/(Gf+1j*2*pi*f*C));
%=====
%Ecuacion para el cálculo de la funcion de transferencia Hk
Hk=(ZL+ZS)/(ZL*cosh(yk*d)+Zo*sinh(yk*d)+ZS*ZL/Zo*sinh(yk*d)+...
ZS*cosh(yk*d));
%=====
%Lo siguiente para el calculo de las distancias
if d==0.5
    dnm=.5;
    dc1=.5;
    dc2=.5;
elseif d==1;
    dnm=1;
    dc1=.5;
    dc2=1;
else
    dnm=1.5;
    dc1=.5;
    dc2=1;
end
Hknm=(ZL+ZS)/(ZL*cosh(yk*dnm)+Zo*sinh(yk*dnm)+ZS*ZL/Zo*...
sinh(yk*dnm)+ZS*cosh(yk*dnm));

```



```

    alfa1=0.0056*(f/1e6)*sqrt(dc1); %distancia de acoplamiento 1
    alfa2=0.0056*(f/1e6)*sqrt(dc2); %distacion de acoplamiento 2
    Hfext1=alfa1*Hknm; % Fext producido por el disturber 1
    Hfext2=alfa2*Hknm; % Fext producido por el disturber 2
    n=2; %numero de perturbadores (disturbers)
    fext=((10^((PSDdown)/10)*(abs(Hfext1))^2*n^0.6)^(1/0.6)+...
    (10^((PSDdown)/10)*(abs(Hfext2))^2*n^0.6)^(1/0.6))^0.6;
    %=====
    Htemp=Htemp+Hk;
    Htemp1=Htemp1+Hfext1;
    Htemp2=Htemp2+Hfext2;

Cap=log2(1+10^((PSDdown)/10)*(abs(Hk))^2/((fext+AWGN)*10^(Sig/10)));
    Ctemp=Ctemp+Cap;
end
H=[H Htemp Htemp1 Htemp2];
Cdown=[Cdown Ctemp*4000];
end
H = abs(H);
%Reordenamiento de los valores en la matriz SVD
Hcanal = [H(1) H(2) H(3); H(5) H(4) H(6); H(8) H(9) H(7)];
[U,S,V] = svd(Hcanal);%S es la matriz de canal libre de Crosstalk
%S(1,2) y S(1,3) son las interferencias tipo fext para el usuario 1
%S(2,1) y S(2,3) son las interferencias tipo fext para el usuario 2
%S(3,1) y S(3,2) son las interferencias tipo fext para el usuario 3

%Por lo tanto el calculo de Capacidad queda
Cdown=[];
for d=0.5:0.5:1.5, %Kilometros
    Ctemp=0; %La suma de las capacidades temporal
    for i=33:1:255,
        f=i*deltaf; %calculo la frecuencia del tono al que se va a
obtener
            %la capacidad máxima
            %Ecuaciones de Linea para la Densidad Espectral de Potencia
            %[Khz,dBm/Hz] ADLS2
            %Gráfica de PSD (anotar numero de gráfica)
            if f>0 && f<=4e3,
                PSDdown=-97.5; %dBm/Hz
            elseif f>4e3 && f<=80e3,
                PSDdown=-92.5+4.63*log2(f/4);
            elseif f>80e3 && f<=138e3,
                PSDdown=-72.5+36*log2(f/80);
            elseif f>138e3 && f<=1104e3,
                PSDdown=-36.5; %dBm/Hz
            elseif f>1104e3 && f<=3093e3,
                PSDdown=-36.-36*log2(f/1104);
            elseif f>3093e3 && f<=4545e3,
                PSDdown=-90;
            elseif f>4545e3 && f<=11040e3,
                PSDdown=-90;
            end
            %=====
            %PARAMETRO RLCC

```

```

Rf=(cable.param.r0c^4+cable.param.ac*f^2)^.25;
freq=(f/cable.param.fm)^cable.param.b;
Lf=(cable.param.l0+cable.param.l00*freq)/(1+freq);
Gf=cable.param.g0*(f)^cable.param.ge;
%Variables para el cálculo de la función de transferencia
directa
yk=sqrt((Rf+lj*2*pi*f*Lf)*(Gf+lj*2*pi*f*C));
Zo=sqrt((Rf+lj*2*pi*f*Lf)/(Gf+lj*2*pi*f*C));
%=====
%Ecuacion para el cálculo de la funcion de transferencia Hk
Hk=(ZL+ZS)/(ZL*cosh(yk*d)+Zo*sinh(yk*d)+ZS*ZL/Zo*sinh(yk*d)+...
ZS*cosh(yk*d));
%=====
fext=0; %El fext es cero por la descomposición de las MATRIZ
H
Ctemp=Ctemp+log2(1+10^(PSDdown/10)*(abs(Hk))^2/((fext+AWGN)*...
10^(Sig/10)));
end
Cdown=[Cdown Ctemp*4000];
end
Decomp = Cdown;
d=0.5:0.5:1.5;
figure(1)
plot(d,Decomp,':co','LineWidth',2,'MarkerEdgeColor','k',...
'MarkerFaceColor','g','MarkerSize',10);
xlim([0.45 1.5])
set(gca,'XTick',.5:.5:1.5);
set(gca,'XTickLabel',{'500','1000','1500'});
grid on
xlabel('Distancia en metros');
ylabel('Capacidad en bits por segundo con SVD (bps)');

%=====
%
```

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sjöberg Frank, A VDSL Tutorial, <http://epubl.luth.se/1402-1528/2000/02/index-en.html>, Abril del 2000.
- [2] Cendrillon Raphael, Partial Crosstalk Precompensation in Downstream, espace.library.uq.edu.au/eserv/UQ:9944/partial_precode.pdf, Noviembre 23 del 2003.
- [3] Nedev Nedko, Analysis of the Impact of Impulse Noise in Digital Subscriber Line Systems, <www.see.ed.ac.uk/~dgm/PhDthesis/Nedev.pdf>, Marzo del 2003.
- [4] Gujrathi Mandar, Performance of Crosstalk Cancellation in VDSL, epress.lib.uts.edu.au/dspace/bitstream/handle/2100/78/112_Gujrathi.pdf?, Diciembre del 2009.
- [5] Lindvist Fredrik, Crosstalk Channel Estimation via Standardized Two Port Measurements, <downloads.hindawi.com/journals/asp/2008/916865.pdf>, Diciembre 19 del 2008.
- [6] Huberman Sean, Analysis of Theoretical RLCG Far-End Crosstalk (FEXT) Channel, <www.ece.mcgill.ca/.../Analysis%20of%20Theoretical%20RLCG%20FEXT%20Channel.pdf>, Julio del 2008.

- [7] Andrew Stuart, Matrix Analysis and Algorithms, seehuhn.de/media/papers/numlinalg.pdf, Agosto del 2009.
- [8] Cendrillon Raphael, A Near-Optimal Linear Crosstalk, http://espace.library.uq.edu.au/eserv.php?pid=UQ:9916&dsID=linear_canc.pdf, Noviembre del 2004.
- [9] Clifford G.D., Singular Value Decomposition & Independent Component Analysis for Blind Source Separation, www.mit.edu/~gari/teaching/6.222j/ICASVDnotes.pdf, Abril 1 del 2005.
- [10] Cendrillon Raphael, Multi-user Signal and Spectra Co-ordination for Digital Subscriber Lines, espace.library.uq.edu.au/eserv.php?pid=UQ:9945&dsID=thesis.pdf, December del 2004.

