



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TÍTULO DE LA TESIS:

**Título: “Técnica de acceso SDSL: tecnología y despliegue.
Simulación parcial de un módem SHDSL (TC PAM-64)”.**

**Previa la obtención del Grado Académico de Magíster en
Telecomunicaciones**

ELABORADO POR:

JOSE ANDRES INTRIAGO NAVARRETE

Guayaquil, a los 27 días del mes de Junio año 2013



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster José Andrés Intriago Navarrete como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones.

Guayaquil, a los 27 días del mes de Junio año 2013

DIRECTOR DE TESIS

Ing. María Luzmila Ruilova Aguirre, MSc.

REVISORES:

Ing. Luis Cordova Rivadeneira, MSc.

Ing. Luis Vallejo Samaniego, MSc.

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Ing. Manuel Romero Paz, MSc.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, JOSE ANDRES INTRIAGO NAVARRETE

DECLARO QUE:

La tesis “**Técnica de acceso SDSL: tecnología y despliegue. Simulación parcial de un módem SHDSL (TC PAM-64)**”, previa a la obtención del grado Académico de Magíster, ha sido desarrollada en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis del Grado Académico en mención.

Guayaquil, a los 27 días del mes de Junio año 2013

EL AUTOR

JOSE ANDRES INTRIAGO NAVARRETE



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

AUTORIZACIÓN

YO, JOSE ANDRES INTRIAGO NAVARRETE

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución de la Tesis de Maestría titulada: “**Técnica de acceso SDSL: tecnología y despliegue. Simulación parcial de un módem SHDSL (TC PAM-64)**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 27 días del mes de Junio año 2013

EL AUTOR

JOSE ANDRES INTRIAGO NAVARRETE

Pensamiento

Mucho mejor atreverse a hacer cosas grandes, a obtener triunfos gloriosos, aun cuando matizados con fracasos, que formar en las filas de aquellos pobres de espíritu que ni gozan mucho ni sufren mucho porque viven en el crepúsculo gris que no conoce la victoria ni la derrota.

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a mi familia, por ser mi fuente eterna de apoyo y estar presentes en todos los momentos de mi vida.

Por todo su amor, por enseñarme valores y sobre todo por inculcarme a prepararme cada día para ser una mejor persona.

Los quiero, hoy solo quiero decirles que este esfuerzo es por ustedes.

Agradecimientos

He finalizado mi tesis con la esperanza de un futuro maravilloso y este es solo un paso para poderlo conseguir.

Agradezco a DIOS, por darme la oportunidad de conseguir este objetivo.

A mis padres y abuelos por ser pilares fundamentales en la formación de mi personalidad, quienes siempre han estado pendiente de todas mis necesidades y de comprenderme en los momentos difíciles con sus sabias enseñanzas.

A cada una de las personas que creyeron en mis capacidades y me sostuvieron con ánimo en el peregrinar de estos años.

RESUMEN

El presente trabajo ofrece una panorámica general del estado actual de la tecnología SDSL (*Symmetrical Data Rate Digital Subscriber Line*, Línea Digital de Abonado con Tasa de Transferencia Simétrica). Se explican los requerimientos de despliegue de esta técnica, el desarrollo del método de "bonding" y su implementación a nivel de *chips*, además se abunda en la problemática de los excitadores y receptores de línea de los módems SHDSL (*Symmetrical High Data Rate Digital Subscriber Line*, Línea Digital de Abonado con Tasa de Transferencia Simétrica de Alta Velocidad) y se concibe e implementa la simulación parcial de un módem SHDSL.

El capítulo introductorio describe el problema de investigación del presente trabajo. El segundo capítulo expone las características de las redes de acceso vía cobre; y fundamenta además el desarrollo y funcionamiento de las tecnologías xDSL (*Digital Subscriber Line*, Línea Digital de Abonado). El tercer capítulo caracteriza las condiciones de despliegue de la técnica SDSL y el desarrollo de SHDSL como un salto sustancial en las posibilidades de los accesos simétricos basados en cobre. Este capítulo abarca además lo referente a la técnica de "bonding", utilizada por SHDSL para incrementar sus tasas de transferencia de datos y la correspondiente implementación de este método a nivel de *chip*. El cuarto capítulo analiza la problemática de los excitadores y receptores de línea (*Line Driver*) en los módems SHDSL y se concibe e implementa la simulación parcial de uno de estos módems, específicamente la simulación de la codificación TCPAM 64 en la etapa transmisora. Para ello se utilizó el *software* SIMULINK, una de las herramientas más importantes de MATLAB. Por último el quinto capítulo detalla las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

Palabras claves: xDSL, SHDSL, *bonding*, *line driver*, Simulink

ABSTRACT

This work offers an overview of the current state of SDSL (Symmetrical Data Rate Digital Subscriber Line). It explains the requirements for deployment this technique. The problematic of increasing the data rates by mean of the method known as “bonding” is treated, particularly the “chip bonding”. Also an abundant treatment of the line drivers and receivers in SHDSL modems is presented. A partial simulation of a SHDSL modem is conceived and implemented using the software MATLAB/SIMULINK.

An introductory chapter presents the characteristics of the copper based access networks and also explains the development and operation of xDSL (Digital Subscriber Line). The second chapter characterizes the deployment conditions for the SDSL technologies and shows how can be considered as an important step in the possibilities of the symmetrical copper-based access. Finally the third chapter analyzes the problems of the drivers and line receivers for SHDSL modems. Here is conceived and implemented a partial simulation of this modem type, specifically the generation of TCPAM-64 line signal at the transmitter end.

Keywords: xDSL, SHDSL, bonding, line driver, Simulink

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
1.1. INTRODUCCIÓN	12
1.2. Definición del Problema.	14
1.3. Objeto de estudio.	15
1.4. Hipótesis.	15
1.5. Objetivos	15
1.5.1. Objetivo general.	15
1.5.2. Objetivos Específicos:	15
1.6. Metodología de Investigación.....	15
CAPÍTULO 2: ASPECTOS TEÓRICOS Y TÉCNICOS DE LAS REDES DE ACCESO VIA COBRE: xDSL.	17
2.1. Redes de Acceso	17
2.2. Redes de Acceso Vía Cobre	18
2.3. Redes de Acceso: xDSL	20
2.3.1. Principio de funcionamiento de una red xDSL	23
2.3.2. Principio de Funcionamiento de los módems xDSL.	24
2.3.3. Diafonía en las tecnologías xDSL. Códigos de línea	25
2.4. Desarrollo de las Técnicas de Acceso xDSL.....	26
CAPÍTULO 3. ESTADO ACTUAL DE SDSL: TECNOLOGÍA IMPLEMENTADA Y DESPLIEGUE.....	28
3.1. Desarrollo de SDSL / HDSL 2.	28
3.2. Estándares de la tecnología SDSL (Evolución).....	38
3.3. SHDSL “Estándar Universal”	39
3.3.1. Estándares de SHDSL	41
3.3.2. Compatibilidad espectral.	41
3.4. Funcionamiento del transreceptor SHDSL.....	42
3.5. Aplicaciones y Servicios de la tecnología SHDSL	44
3.6. Aspectos económicos de SDSL y SHDSL	47
3.7. SHDSL: Técnica de Enlace (<i>bonding</i>).	48
3.8. Enlace de Capa Física (<i>PHY Layer Bonding</i>)	49
3.9. Tecnología SHDSL a nivel de <i>Chip</i>	50

CAPÍTULO 4: TERMINALES DE LÍNEA. SIMULACIÓN PARCIAL DE UN MODEM SHDSL.	56
4.1 Excitadores y receptores de línea (<i>Line Driver</i>).	56
4.2 Curvas características de rendimiento.	60
4.3 Características de la Modulación de Amplitud de Pulso (PAM).....	66
4.3.1 Código de línea PAM-64 para la implementación de SHDSL.....	69
4.4 Propuesta de aplicación de PAM-64 para SHDSL.....	72
4.5 Simulación de un Transmisor SHDSL con modulación PAM-64.....	75
4.5.1 Transmisor HDSL con PAM-64.....	76
4.5.2 Registro Serie – Paralelo	76
4.5.3 Codificador Convolutivo.....	78
4.5.5 Características de la señal PAM obtenida	81
4.8 Mercado de las tecnologías SHDSL basadas en PAM-64.....	82
4.9 Módems SHDSL basados en PAM-64.	83
4.9.1 Módems SHDSL “FlexDSL Orión2+” (FlexDSL).	83
Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones	85
5.1 Conclusiones.....	85
5.2 Recomendaciones.	86
Bibliografía.....	87
Glosario de Términos	90
Anexos.....	94

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones de altas velocidades constituyen un requerimiento normal en casi todas las ramas comerciales, gubernamentales, académicas, militares, de entretenimiento y domésticas. Hoy día, las necesidades de altas tasas de transmisión ya no son exclusivas de grandes empresas, compañías, o redes. Cada vez son más los clientes individuales que demandan de mayores velocidades para sus enlaces, principalmente desde el hogar, en correspondencia a los novedosos servicios que los proveedores van insertando con fuerza en el mercado de la informatización y a la moderna tendencia de trabajo en casa (*work in home*). Hace algunos años, el cobre era el soporte físico por excelencia de todo tipo de comunicación alámbrica. La aparición de la fibra óptica pareció, en su momento, la perfecta solución para los problemas de límites de velocidad a que estaban sometidos los usuarios; un conductor de gran ancho de banda, con poca distorsión y atenuación era muy ventajoso como para seguir soportando los inconvenientes y limitantes del par telefónico. Aunque la infraestructura del cobre podría ser sustituida masivamente por tecnologías basadas en fibras ópticas, el costo para llevarlo a cabo sería extremadamente elevado y, más importante aún, el tiempo necesario para lograr tal transición resultaría inaceptable debido a la demanda actual de mercado existente (**xDSL tutorial**), (**Infante**).

Las tecnologías de altas velocidades sobre el lazo de abonado o xDSL por sus siglas en inglés, emergieron en este escenario para dar solución a las demandas anteriores. Dichas tecnologías constituyen una familia de técnicas cada una con sus diferentes especificaciones. Así se tienen las tecnologías HDSL (*High Bit Rate Digital Subscriber Line*, Línea Digital de Abonado de Tasa con Transferencia de alta velocidad), HDSL2 o SDSL (*Symmetric Digital Subscriber Line*, Línea Digital de Abonado de Tasa con Transferencia Simétrica), ADSL (*Asymmetrical Digital Subscriber Line*, Línea Digital de Abonado con Tasa de Transferencia Asimétrica), VDSL (*Very-High Speed Digital Subscriber Line*, Línea Digital de Abonado con Tasa de Transferencia de Muy Alta Velocidad) y otras. Estas técnicas de acceso permiten la extensión de velocidades de transmisión de datos en el orden de los Mbps desde la central del Proveedor de Servicio Internet (ISP) hasta el abonado, o desde la Central Telefónica (CT) hasta el abonado, sobre los pares de cobre existentes, sin necesidad de reemplazar masivamente la

infraestructura de red y a costos más económicos. Estas soluciones satisfacen las necesidades actuales de acceso a las redes de una manera rápida y a costos razonables, preservando la infraestructura actual telefónica y permitiendo una migración planificada hacia las nuevas tecnologías de fibras ópticas. En la Tabla 1.1 se puede observar una comparación de costos y velocidad de despliegue entre algunas de las tecnologías de acceso usadas en la actualidad (**xDSLtutorial**).

Tabla 1. 1: Comparación de costo y tiempo de despliegue entre distintas tecnologías de acceso de banda ancha

Tecnología	Costo por Milla (USD)	Tiempo de Despliegue
Fibra Óptica	Más de 20 000	Meses
Cable Coaxial	Más de 10 000	Meses
Cobre acondicionado con repetidores	aprox. 5 000	Semanas
xDSL	Aprox. 500	Horas

Fuente:<http://www.pairgain.com>

En general, las premisas para el desarrollo de las tecnologías xDSL fueron las siguientes:

- Experiencias y resultados alcanzados en el desarrollo de los lazos de abonados digitales (DSL) de las redes RDSI (*Integrated Services Digital Network*, Red Digital de Servicios Integrados) de banda estrecha.
- Empleo de novedosos métodos de procesamiento y transmisión importados de la tecnología de los módems para canales digitales: PAM (Modulación de Amplitud de Pulso), DMT (Multitono Discreto), QAM-M (Modulación de amplitud en cuadratura), TCM (Modulación con Codificación Trellis) etc.
- Desarrollo de nuevas generaciones de procesadores digitales de señales (DSPs) y circuitos de muy alta escala de integración (VLSI) capaces de soportar la realización de estas complejas técnicas.

La implementación de las técnicas xDSL, fue aceptada exitosamente por el cliente individual, pero además fue apoyada por parte de los propietarios del cobre instalado. En este momento de auge, las técnicas HDSL y ADSL destacaron entre todas (**xDSLtutorial**).

Sin embargo, el dinámico mundo de los servicios no se detuvo. Los proveedores continuaron con el desarrollo de nuevas posibilidades para el cliente y las necesidades de velocidad volvieron a ser un problema a considerar, variantes de las xDSL surgieron buscando incrementar la tasa de transmisión de bits para los usuarios e incluso, abaratar aún más la tecnología. Estas ganancias en precio y prestaciones se lograban a partir de cambios en los tipos de modulaciones, en la incorporación de mecanismos de protección de la señal como la codificación de trellis y en una recepción más eficiente, frente a las severas influencias a que es sometida la señal de datos que se transmite sobre el par telefónico. Algunas de estas variantes implementadas fueron HDSL2 (Norteamérica) y SDSL (Europa). Ambas utilizan en modalidad estándar un solo par de cobre para la transmisión de datos, un par menos que la tecnología que le antecede HDSL, con lo que se logra un sustancial ahorro de los recursos de red y se garantiza un flujo E1/T1 simétrico (**DSL Forum**).

Este salto tecnológico permitió que una mayor cantidad de usuarios pudiera implementar en sus hogares u oficinas un enlace digital de alta velocidad. Por otro lado, el cobre se resiste a desaparecer frente a la fibra óptica, debido a que se desearía una infraestructura costosa que en muchas localidades todavía sigue en condiciones de dar servicio por mucho más tiempo. Por tanto, el problema fundamental que enfrentan las tecnologías xDSL, hoy en día, es continuar siendo competitivas en el mercado de las tecnologías de acceso de banda ancha. Muchas y variadas son las opciones que surgen en el mercado para enfrentar las necesidades de velocidad de los usuarios pero, algunas de ellas, a precios no tan económicos como los que brinda xDSL, y otras, aún sin contar con la suficiente organización desde el punto de vista de la estandarización como para imponerse a escala mundial al resto de las tecnologías. La familia xDSL puede seguir imponiéndose, pero solo si son capaces de surgir variantes que ofrezcan al usuario, a bajo costo, mayores velocidades de acceso y mejores garantías tecnológicas (**xDSL tutorial**), (**DSL Forum**).

1.2. Definición del Problema.

La tecnología SDSL no ha sido, en nuestro ámbito, objeto de la necesaria investigación que sus posibilidades de servicio brindan. Lo anterior se acentúa en los aspectos tecnológicos relativos a la técnica a nivel de chips, el análisis de la problemática de los receptores/excitadores de línea y las condiciones de desarrollo de esta tecnología.

1.3. Objeto de estudio.

El análisis de las tecnologías de acceso a la línea digital de abonado xDSL, específicamente SDSL.

1.4. Hipótesis.

La investigación de los fundamentos teóricos, los aspectos técnicos fundamentales así como la simulación y análisis de los métodos de implementación de SHDSL pondría al sector de Telecomunicaciones en una situación ventajosa que conduciría a realizar investigaciones conducentes a una mejor explotación de esta tecnología.

1.5. Objetivos

Una vez establecido la definición del problema, a continuación se describen tanto el objetivo general como los específicos

1.5.1. Objetivo general.

Realizar una investigación de la problemática de los receptores/excitadores de línea en módems SHDSL y concebir e implementar la simulación parcial de uno de estos módems, basándose en los fundamentos teóricos y experimentales de la tecnología.

1.5.2. Objetivos Específicos:

- Estudiar los fundamentos teóricos y técnicos de la tecnología de banda ancha SDSL.
- Realizar un análisis del proceso de unión de chips (*bonding*) para obtener módems resultantes de mayores tasas de transmisión.
- Investigar la problemática de los excitadores y receptores de línea en módems SHDSL.
- Simulación parcial de un módem SHDSL.

1.6. Metodología de Investigación.

Una vez expuestos los objetivos específicos, el siguiente paso consiste en determinar los alcances de investigación o metodología apropiada del presente trabajo, aunque es importante no confundir con tipos de investigación. El alcance de la presente investigación es de carácter Exploratorio, Descriptivo y Explicativo, pues se pretende

explorar la técnica de acceso SDSL a través de la simulación parcial de un módem SHDSL que originaron el fenómeno en cuestión, describir una situación tecnológica actual de SDSL y pretender una explicación del mismo. También interesa explicar por qué ocurre el fenómeno (usando una plataforma de simulación).

El paradigma del presente trabajo investigativo de intervención es el Empírico-Analítico, con enfoque “Cuantitativo”, cuyo método es Ex post facto, puesto que se pretenderá evidenciar las posibles relaciones de causa efecto. El diseño de la investigación es no experimental transversal, debido a que no habrá manipulación de las variables de estudio, es decir, que se observará directamente del fenómeno (técnica SDSL) de acuerdo a como se da en su contexto natural, y luego se procederá a su análisis respectivo.

CAPÍTULO 2: ASPECTOS TEÓRICOS Y TÉCNICOS DE LAS REDES DE ACCESO VIA COBRE: xDSL.

En este capítulo se analizan las características y el funcionamiento de las redes de acceso vía cobre: xDSL.

2.1. Redes de Acceso

La red de acceso abarca los elementos tecnológicos que soportan los enlaces de telecomunicaciones entre los usuarios finales y el último nodo de la red. A menudo se denomina lazo local de abonado o simplemente “la última milla”. Sus principales componentes son los medios de comunicación (par de cobre, cable coaxial, fibra óptica, canal radioeléctrico) y los elementos que adecuan la señal a estos. La necesidad de altas tasas de transferencia de datos como consecuencia de la implementación de varias tecnologías de acceso de banda ancha.

Las redes de acceso se clasifican en tres grandes grupos:

- Redes de acceso vía cobre: entre las que destacan las tecnologías xDSL.
- Redes de acceso vía radio: tales como WLL (*Wireless Local Loop*, Lazo Local Inalámbrico), MMDS (*Microwave Multipoint Distribution Service*, Sistema de Distribución Multipunto Multisistema) y LMDS (*Local Multipoint Distribution Service*, Sistema Local de Distribución Multipunto).
- Redes de acceso vía fibra óptica, donde mención especial merecen las HFC (*Hybrid Fibre Coaxial*, Redes Híbridas de Fibra y Coaxial), las PON (*Passive Optical Network*, Redes Ópticas Pasivas) y las redes CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*, Multiplexación por División en Longitudes de Onda Gruesa).

En las figuras 2.1 y 2.2 se muestran los límites de los medios de transmisión para las distintas redes de acceso y la tasa de transmisión de estas contra la densidad de usuarios, respectivamente.

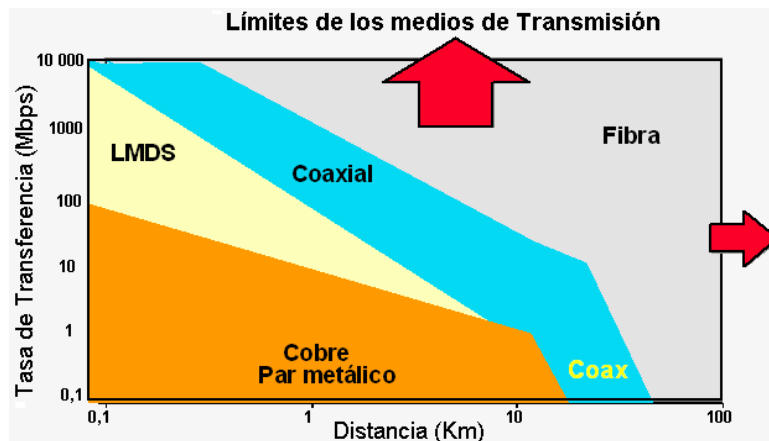


Figura2.1: Límites de los medios de transmisión
Fuente:(DSL Forum).

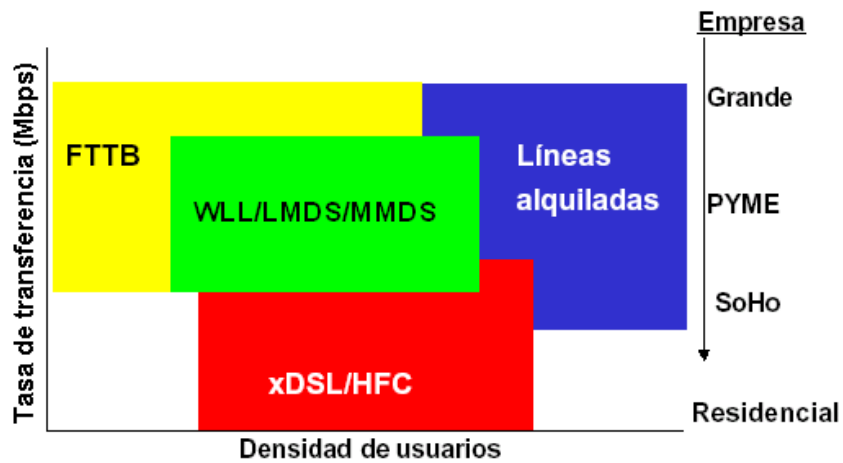


Figura2.2: Posicionamiento de las redes de acceso de banda ancha
Fuente:(DSL Forum).

2.2 Redes de Acceso Vía Cobre

Las redes de acceso vía cobre más desarrolladas son:

- RDSI
- xDSL

Hasta 1960 todas las centrales telefónicas eran analógicas. Para transmitir datos se utilizaban los módems (serie V UITT), que trabajan en la banda del canal de voz (0.3–3.4 KHz) y sus velocidades fueron incrementándose hasta 115 Kbps (módem V92). En 1962 AT&T digitaliza la transmisión y en 1976 la *Western Electric* digitaliza la conmutación. Esto dio paso a la Red Digital Integrada (RDI).

En la década de 1980 se digitaliza el lazo local de abonado, dando paso a la RDSI. Esto permitió que los servicios residentes en la red pudieran ofrecerse a los clientes, además, se demostró que el par de cobre podía soportar más de un canal de voz, con el incremento de velocidades de 64 Kbps hasta 128 Kbps en acceso básico RDSI, a la vez que se incrementaba la utilización del ancho de banda de 4 KHz a 40 KHz.

No obstante la RDSI en su modalidad de acceso básico, no satisfizo las exigencias de tasas de transferencia de datos que requerían las aplicaciones y servicios para los clientes finales. Además, RDSI requería cambiar la tarjeta de abonado en la central telefónica e incorporar un terminador de red (NT) en el extremo del cliente.

Mientras la red de transporte evolucionaba, los servicios se veían limitados hacia el cliente por el cuello de botella que se formaba en la red de acceso. Este era el obstáculo que impedía a la red telefónica en su conjunto la evolución hacia servicios de banda ancha, como son los servicios multimedia: videoconferencia, distribución de vídeo, vídeo bajo demanda, transmisión de datos a gran velocidad (**DSL Forum**), (**Leshem, 2001**), (**Álvarez, 2003**).

Para ofrecer los servicios de banda ancha antes citados, se hacía necesario el despliegue de nuevas redes de comunicaciones basadas en el cable coaxial y en la fibra óptica. Y precisamente este era uno de los principales motivos por los que las comunicaciones de banda ancha no han progresado todo lo rápido que se esperaba: desplegar nuevas redes partiendo de cero, es muy caro tanto por el equipamiento como por las inversiones en obra.

Un par de cobre en un aceptable estado de conservación tiene una buena respuesta en frecuencia y permite la transmisión de señales en una banda en el orden de varios MHz. Para aprovechar este potencial sólo hacían falta unos equipos capaces de sacar partido de ello. Y es esta una de las principales razones que conllevaron al desarrollo de nuevas técnicas de acceso que siguiesen aprovechando el par de cobre al tiempo que ofreciesen mayores tasas de transferencias y aseguraran una migración paulatina hacia el cable coaxial o la fibra.

2.3 Redes de Acceso: xDSL

El desarrollo de las tecnologías de acceso xDSL es el resultado de la conjunción de varios factores tecnológicos, socio-económicos y de estandarización. Las tecnologías xDSL son, en muy buena medida, el resultado directo de las insuficiencias de las RDSI. En la figura 2.3 se representa la configuración típica de un sistema xDSL, y los distintos DSL empleados según el servicio ofrecido para un usuario determinado.

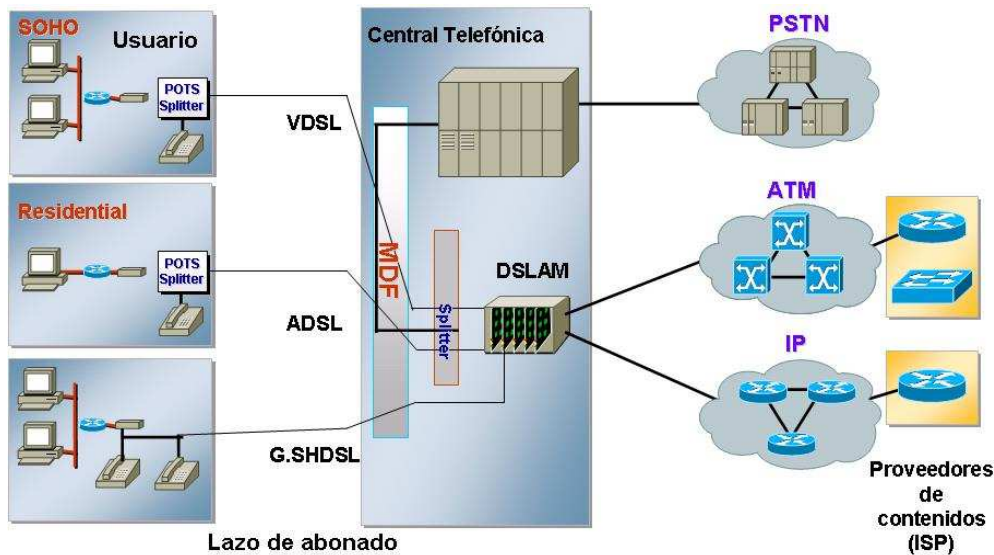


Figura 2.3 Sistema típico xDSL

Fuente: (Álvarez, 2003).

Luego de un proceso de desarrollo tecnológico y estandarización (particularmente de este último), ya la velocidad máxima de 144 Kbps ofrecida por el enlace básico de RDSI (2B+D), resultaba más que insuficiente para satisfacer las crecientes exigencias de altas tasas de transmisión que demandaba la Internet, particularmente el surgimiento del WWW (*World Wide Web*) y su inseparable contenido multimedia.

Pero es precisamente, cuando se están desarrollando los lazos de abonados digitales de la red RDSI que se ponen de manifiesto las potencialidades de los pares de cobre de los POTS (*Plain Old Telephone Service*, Servicios Telefónicos Locales Tradicionales) para la transmisión de velocidades muy por encima de las logradas hasta esos momentos.

El cálculo de la capacidad en el sentido de Shannon (Teoría matemática de la comunicación que permite calcular la capacidad de información que se puede transmitir por un canal), en presencia de diafonía cercana o NEXT (en esos momentos la

limitación fundamental) mostraba claramente la posibilidad de alcanzar velocidades en el rango de los Mbps. Es aquí cuando la utilización de poderosos métodos de procesamiento y transmisión, en gran medida importados de la agotada tecnología de los módems para canales telefónicos de voz, encuentra su realización práctica a una escala de mayor complejidad en resultados y calidad (DSL Forum), (Álvarez, 2003).

En la tabla 2.1 se ilustran algunos de los métodos de procesamiento y transmisión que contribuyeron al desarrollo sustancial de las redes de acceso.

Tabla 2.1: Métodos de procesamiento y transmisión.

Métodos de Procesamiento y Tecnologías de transmisión	Descripción
DMT	Multitono Discreto (Técnica Multiportadora)
QAM	Modulación de Amplitud en Quadratura
TC PAM	Modulación de Amplitud de Pulso con Codificación Trellis
OPTIS	Modulación PAM con solapamiento y espectro entrelazado
DSPs	Procesadores Digitales de Señales
VLSI	Circuitos de muy alta escala de integración

Fuente: (Leshem, 2001)

La primera especificación de la tecnología xDSL fue definida en 1987 por *Bell Communications Research (Bellcore)*, la misma compañía que inventó la RDSI. En ese momento, xDSL estaba diseñada para suministrar vídeo bajo demanda y aplicaciones de TV interactiva sobre el par de cobre, que, caracterizado por la presencia de serias limitaciones (ancho de banda, diafonía, distorsiones de amplitud y fase, interferencias electromagnéticas de diversos tipos, ruido impulsivo, diversidad de calibres, etc.) pasó a un primer plano de interés de las investigaciones y desarrollo en el área de las telecomunicaciones.

Lo anterior estuvo enfocado hacia tres direcciones: la reventa, la interconexión y ladesagregación (*unbundling*) del lazo de abonado. Este proceso, en formas adecuadas a cada región y con mayor o menor grado de dificultad, se expandió globalmente, y dio

fin al monopolio de la prestación de servicios de banda ancha en el área local, ello dio origen a una fuerte competencia en la llamada “última milla” entre las diferentes tecnologías de acceso (HDSL, SDSL, ADSL, VDSL, etc.) (xDSLtutorial), (DSL Forum).

El proceso de desregularización (*unbundling*) es el más complejo y el de mayor repercusión en el campo tecnológico así como en el despliegue de las tecnologías de banda ancha. Su objetivo es propiciar a las operadoras emergentes el acceso a los elementos de red de la operadora tradicional establecida y propietaria de la infraestructura, permitiendo que las primeras las puedan utilizar para implantar redes propias. El despliegue -no experimental- de DSL empezó en 1998 y continuó desarrollándose de manera acelerada, aumentado a través de la próxima década en varias comunidades de EE.UU. y otras partes del mundo, destacándose los consorcios Compaq, Intel, y Microsoft.

XDSL utiliza más de una banda de frecuencia sobre las líneas de cobre para transmisión de voz, que a su vez son empleadas para los POTS. Emplea también un espectro de frecuencias situado por encima de la banda vocal (300Hz a 3400Hz) en líneas telefónicas o por encima de los 80 KHz ocupados en las líneas RDSI para transmisión de datos. XDSL puede codificar más datos y transmitir a más elevadas tasas de transmisión que las técnicas que le anteceden, no obstante esta posibilidad está restringida por el rango de frecuencias de una red POTS.

XDSL además soporta formatos y tasas de transmisión especificados por los estándares T1 (1,544 Mbps) y E1 (2,048 Mbps), y es lo suficientemente flexible para soportar tasas y formatos adicionales como sean especificados. Como resultado, todos los tipos de servicios, incluyendo el de voz existente, video, multimedia y servicios de datos pueden ser transportados sin el desarrollo de nuevas estrategias de infraestructura. La figura 2.4 muestra como varía el ancho de banda en las tecnologías xDSL y su uso más eficiente frente a las RDSI (Álvarez, 2003), (DSL Forum).

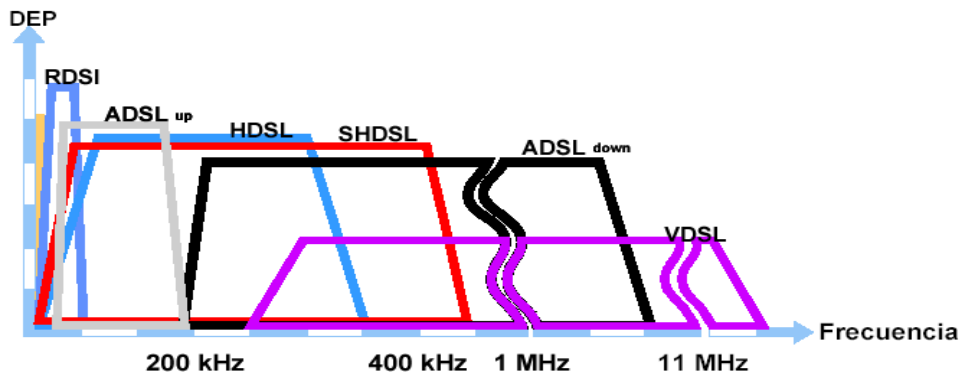


Figura2.4: Ancho de banda de las tecnologías xDSL
Fuente:(DSL Forum).

2.3.1 Principio de funcionamiento de una red xDSL

El objetivo fundamental de las redes xDSL es brindar altas tasas de transferencia de datos y garantizar la continuidad de la infraestructura sobre el par de cobre. Para utilizar frecuencias superiores al espectro de audio de voz xDSL convierte las líneas analógicas convencionales en líneas digitales de alta velocidad colocando un módem xDSL terminal en cada extremo del circuito, siempre que estos reúnan un mínimo de requisitos en cuanto a la calidad del circuito y la distancia.

En xDSL la información viaja a través de la red troncal o "backbone" y puede ser direccionada, a otro usuario con DSL, o hacia otro abonado con módem conmutador, un ISP (*Internet Service Provider*, Proveedor de Servicios de Internet), un usuario de una red LAN (*Local Area Network*, Red de Área Local), etc., como se muestra en la figura 2.5.

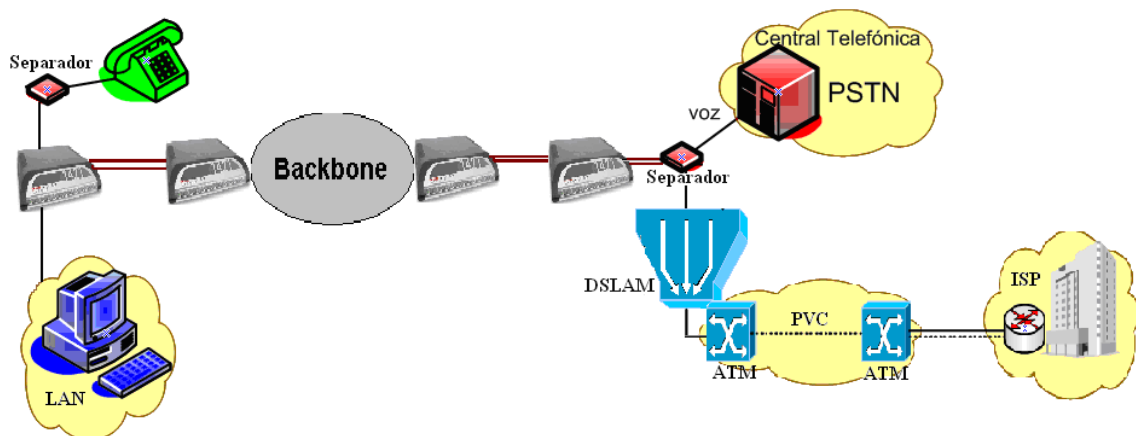


Figura2.5: Funcionamiento de una Red de Acceso Vía Cobre
Fuente:(DSL Forum).

XDSL no emplea amplificadores ni repetidores de señal a lo largo de la ruta cableada, o sea entre el sitio del cliente y el primer nodo de la red. Es una tecnología de acceso punto a punto a través de la red pública, que permite un flujo de información tanto simétrico como asimétrico y de alta velocidad sobre el bucle de abonado. Las redes xDSL están determinadas por la relación entre la distancia alcanzada entre módems, velocidad de datos y simetrías entre el tráfico de bajada (D) y el tráfico de subida (U). Como consecuencia de estas características, cada tipo de módem DSL se adapta preferentemente a un tipo de aplicaciones.

Las velocidades de datos de entrada dependen de diversos factores como son:

- Longitud de la línea de Cobre.
- El calibre/diámetro del hilo (especificación AWG/mm).
- La presencia de derivaciones puenteadas.
- La interferencia de acoplamientos cruzados.
- Otros

El despliegue de las redes xDSL permite el empleo simultáneo de voz y datos sobre la línea de cobre, sin interferirse un servicio con el otro y con velocidades aceptables. Los operadores telefónicos proporcionan habitualmente tres canales: dos para datos (bajada y subida) y uno para voz. En función de las distintas velocidades y características de cada una de las técnicas de acceso empleadas, es posible su utilización en distintas aplicaciones, para uso hogareño, SOHO o grandes empresas. Ello garantiza brindar servicios de datos, video, educación a distancia, servicios T1/E1 extendido, servicio entre servidores LAN y WAN (*Wide Area Network*, Red de Área Amplia), redes ATM (*Asynchronous Transfer Mode*, Modo de Transferencia Asíncronico) y de fibra óptica.

2.3.2 Principio de Funcionamiento de los módems xDSL.

El módem digital o ruteador debe estar accesible a la central (CO) de telefonía local, donde la compañía telefónica tiene instalada un DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*, Multiplexor de Acceso DSL) localizado en la central telefónica que proporciona a los abonados acceso a los servicios xDSL. La señal es transmitida desde la línea telefónica de la red troncal y directamente al ruteador del servidor DSL, donde se verifica el acceso a la red y se da servicio para la conexión a Internet.

La red módem/ruteadorestrabaja en la capa de red y se conectan a dispositivos de la capa de enlace, que pueden ser conmutadores ATM, *FrameRelay*, X25, etc. Normalmente los equipos de capa de enlace se conectan a dispositivos de la capa física que hacen una adecuación de la señal al medio de transmisión, tales como SDH(*Synchronous Digital Hierarchy*, Jerarquía Digital Síncrona), que a su vez son soportados por la capa física, que normalmente es fibra óptica. Aunque hay otras alternativas de transmisión en una red multicapas, esta es la más frecuente para el tránsito de la información a través de la red troncal, a lo largo y ancho de un país.

Los datos enviados o recibidos por el modem xDSL pasan por un dispositivo que se comporta como un divisor pasivo, llamado separador o "*splitter*" (SDSL/SHDSL no lo emplean), que permite la utilización simultánea del servicio telefónico básico y del servicio xDSL. El separador se coloca delante de los módems del usuario y de la central; está formado por dos filtros, uno pasa bajo y otro pasa alto.

La finalidad de estos dos filtros es la de separar las señales transmitidas por el canal en señales de alta frecuencia (datos) y señales de baja frecuencia (telefonía). Las transmisiones de voz, se ubican en la banda base (4 KHz e inferior), mientras que los canales de datos de salida y de entrada están en un espectro más alto (centenares de KHz). El resultado es que los proveedores de servicio pueden proporcionar velocidades de datos de múltiples Mbps mientras dejan intactos los servicios de voz, todo en una sola línea(xDSLtutorial), (DSL Forum), (Leshem, 2001).

2.3.3 Diafonía en las tecnologías xDSL. Códigos de línea

Existe una numerosa cantidad de códigos de línea obtenidos mediante transcodificación de la señal proveniente de la fuente de datos. Estos códigos son capaces de disminuir la diafonía cercana en los sistemas digitales multipares, ya sea por el corrimiento del espectro hacia las bajas o altas frecuencias o por disminución de la velocidad de señalización. A estos códigos se les impone numerosas exigencias relativas a:

- Transparencia a la secuencia de datos transmitida.
- Adecuado ancho de banda para la transmisión.
- Reducción del contenido espectral de potencia en bajas y/o altas frecuencias.
- Existencia de ceros espectrales (libre de CD).

- Contenido de información de tiempo para el proceso de sincronización.
- Contenido de información sobre la amplitud de la señal.
- Inmunidad a las interferencias.
- No-propagación de los errores.
- Baja complejidad circuital en la codificación y decodificación.

No existe un código de línea óptimo que cumpla con todas estas exigencias. Los diferentes códigos de línea tienen sus ventajas y desventajas relativas que deben ser consideradas de acuerdo al caso particular de aplicación que se hace en la práctica. Un parámetro decisivo para reducir la diafonía cercana es la reducción de la velocidad de señalización en línea o la llamada compresión del ancho de banda.

2.4 Desarrollo de las Técnicas de Acceso xDSL

La creciente demanda de servicios de Internet, que incluye alto contenido multimedia, juegos en línea, video bajo demanda y los programas que permiten transferencia de archivos, incrementan la necesidad de accesos de banda ancha para usuarios residenciales. En el ámbito empresarial, el aumento de la necesidad de VPN (*Virtual Private Network*, Redes Privadas Virtuales) y el acceso a servidores de correo electrónico por las compañías, contribuyen al aumento de dicha demanda.

Además, como la frontera entre las LAN y las WAN ha sido lenta pero sostenidamente borrada, las líneas dedicadas de 64 Kbps tradicionales usadas por muchas empresas para el acceso a Internet ocasionan un cuello de botella para enlazar sus LANs de 100 Mbps al mundo exterior.

ADSL es la tecnología adecuada para satisfacer las necesidades de acceso a Internet de los clientes residenciales que demandan mayor tasa de transferencia de datos en el enlace de bajada (D), que en el enlace de subida (U). Sin embargo, ADSL no satisface las necesidades de empresas que tienen como requisito transmitir grandes volúmenes de datos a servidores centrales (*upload*) y a usuarios situados a más de 3,5 km de la central telefónica local.

Los servicios DSL simétricos (SDSL/SHDSL) han tenido un despliegue más lento, debido al alto costo de instalación que demandan comparado con las ganancias relativamente pobres sobre los servicios existentes. No obstante, al ofrecer diferentes tasas de transferencia de datos, con aumentos significativos en el alcance y desempeño en comparación con HDSL; Estas novedosas técnicas han favorecido el aumento de los enlaces basados en ella.

En el siguiente capítulo se presenta el estado actual de SDSL, la tecnología implementada y el despliegue de la misma.

CAPÍTULO 3. ESTADO ACTUAL DE SDSL: TECNOLOGÍA IMPLEMENTADA Y DESPLIEGUE.

En este capítulo se analiza el desarrollo y estado actual de la tecnología SDSL hasta el surgimiento de SHDSL como estándar universal de las tecnologías xDSL simétricas. Además se analiza el método de "bonding" para esta tecnología y su implementación a nivel de *chip*.

3.1 Desarrollo de SDSL / HDSL 2.

Con el fin de resolver la limitación de los sistemas multipares (empleo de 2 o más pares de cobre), Europa desarrolló experimentalmente la primera versión de lo que sería SDSL. Esencialmente era HDSL operando sobre un simple par de cobre y permitiendo una fácil implementación de aquellas aplicaciones con flujos de datos simétricos, así como el servicio telefónico de voz tradicional.

Esta primera versión de SDSL fue superada en EE.UU por HDSL2 tecnología estandarizada por ANSI (*American National Standard Institute*, Instituto de Estandarización Nacional Americano), cuyas novedades fundamentales fueron el empleo de TC PAM-16 (4B1H: 4 Binario 1 Hexadecimal) en sustitución de 2B1Q y la aplicación de una máscara especial PSD (*Power Spectral Density*, Densidad Espectral de Potencia) llamada OPTIS (*Overlapped PAM Transmission with Interlocking Spectral*, Transmisión PAM con Solapamiento y Espectros Entrelazados).

La máscara OPTIS garantiza la compatibilidad espectral y robustez de la señal frente a la diafonía, luego da como resultado espectros entrelazados y asimétricos. HDSL 2 fue desarrollada por la compañía *PairGain* ofreciendo tasas de Transmisión de 1,544 Mbps (T1E1-4/2001-006R2, 2001), (T1-T1-418, 2000), (T1E1-4/97-300, 1997). El correspondiente desarrollo Europeo no demoró mucho, apareciendo la tecnología que se denominó SDSL oficialmente, con una tasa de transferencia de datos de 2,3 Mbps. Aunque incorporó mucho de los logros de HDSL-2, tuvo muy en cuenta la estructura de cables de la ETSI.

Entre las características que distinguen a SDSL con respecto a HDSL-2 se encuentran: mejor compatibilidad espectral, mayor alcance, menor consumo de energía y una alta

flexibilidad de configuración, entre ellas la de unir (*bond*) dos módems en unopara alcanzar una mayor tasa de transferencia sobre dos pares de cobre.En la figura 2.1 se muestra una serie de aspectos generales de la tecnología SDSL.

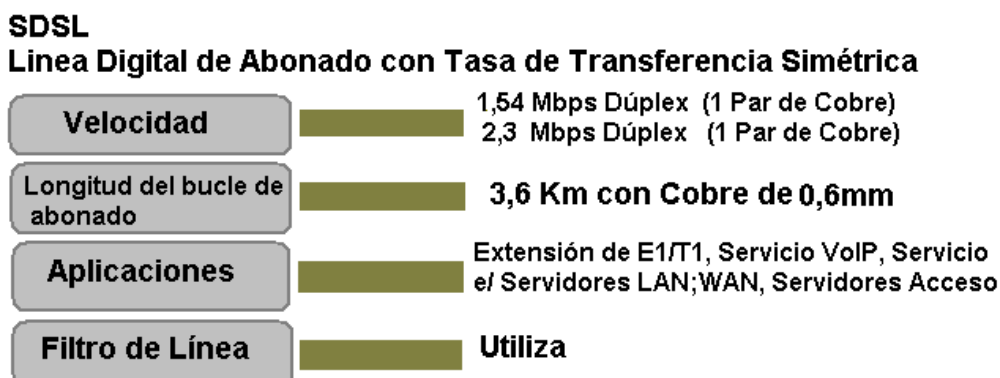


Figura3.1: Aspectos generales de SDSL
Fuente:(ETSI-TS-101-524-2-v1-1-1).

Entre las principales características de la tecnología SDSL destacan:

- Transmisión sincrónica *full dúplex* sobre un solo par de cobre.
- Técnicas de cancelación de eco más avanzadas que las tecnologías que le anteceden.
- Modulación TCPAM-16.
- Velocidad de transmisión estándar de 2,3 Mbps, aunque debido a la flexibilidad de configuración de la tecnología permite, uniendo dos módems de 2,3 Mbps alcanzar un flujo de 4,6 Mbps sobre dos pares de cobre.
- Interoperabilidad con otras tecnologías (ADSL, VDSL)
- Soporta el transporte de señales SDH, TDM, ATM.
- Técnicas de corrección de errores avanzadas.
- El ancho de banda que emplea depende de la velocidad de transmisión sobre cada bucle, llegando hasta los 300 - 400 Khz. cuando se emplean las máximas velocidades de transmisión.

SDSL ofrece ventajas y beneficios a proveedores y suscriptores de servicios ya que:

- Minimiza la influencia de la diafonía en las direcciones de subida y bajada.
- Optimiza el comportamiento de la señal, reduciendo el ruido en presencia de otras tecnologías DSL.

- Garantiza una transmisión del flujo E1/T1 a una mayor distancia que HDSL y HDSL-2.
- Gracias a la alta adaptabilidad de la tecnología, permite transmitir una muy amplia variedad de protocolos de transmisión.

Estas ventajas hacen de SDSL una solución excelente para dar continuidad al servicio, manteniendo la infraestructura de red sobre el par de cobre (ETSI-TS-101-524-2-v1-1-1).

3.1.1 Aspectos que posibilitaron el desarrollo de SDSL.

Para que SDSL se desarrollara, fue necesario implementar un conjunto de características importantes de la técnica. La clave en el éxito de esta tecnología se encuentra en el modelo de referencia de la capa dependiente del medio físico (PMD) de un transreceptor SHDSL, cuyo esquema se muestra en la figura 3.2. Este modelo se define en el estándar UIT-T G.991.2 (12/2003) (G-991-2, 2003), y se muestra en forma de esquema en bloques en la figura 3.3.

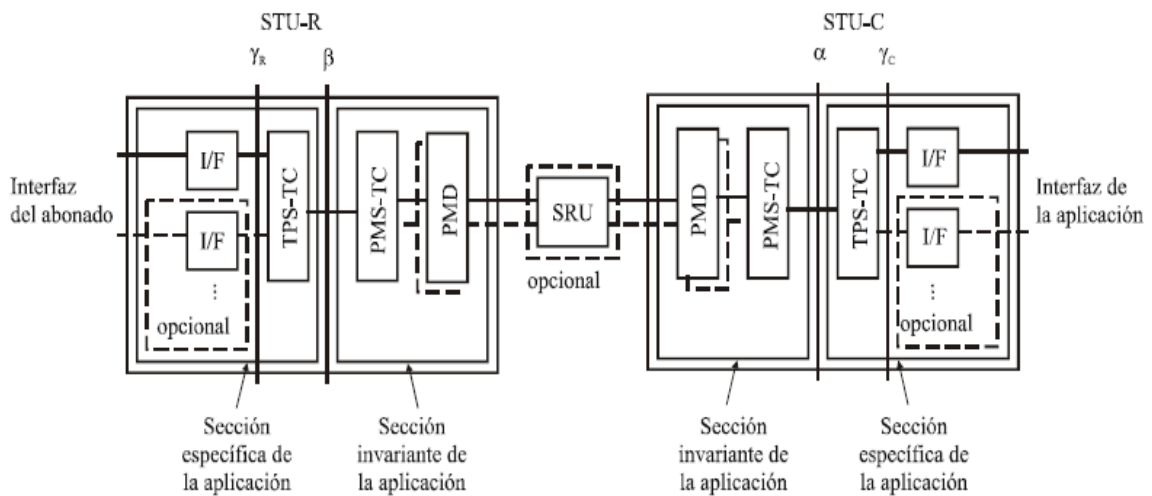


Figura 3.2: Modelo funcional de un transmisor/receptor SHDSL

Fuente: (ETSI-TS-101-524-2-v1-1-1).

De donde:

STU-R: SHDSL *Transceiver Unit at the Remote End*, Unidad Receptora SHDSL en el Extremo Remoto (cliente)

STU-C: SHDSL *Transceiver Unit at the Central Office*, Unidad Receptora en la Oficina Central

PMD: *Physical Media Dependent*, Dependiente del Medio Físico

PMS-TC: *Physical Medium Specific TC Layer*, Capa de Convergencia de Transmisión Específica de Medios Físicos

TPS-TC: *Transmission Protocol-specific Transmission Convergence (TC) Layer*, Capa de Convergencia de Transmisión Específica del Protocolo de Transmisión

I/F: Interfaz

SRU: *SHDSL Regenerator Unit*, Unidad Regeneradora SHDSL

α/β : Interfaz entre las capas PMS-TC y TPS-TC de la STU-C

γ_C/γ_R : Interfaz entre la capa TPS-TC y la sección específica de la aplicación.

Cada STU consta de una sección invariante y de otra específica de la aplicación. De acuerdo con la figura 3.3, un tramo SHDSL puede incluir asimismo regeneradores de señal opcionales.

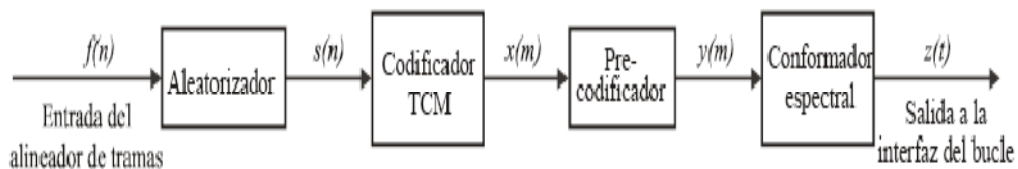


Figura 3.3: Modelo de referencia de la capa dependiente del medio físico (PMD)

Fuente: (ETSI-TS-101-524-2-v1-1-1).

El índice temporal n representa el tiempo del bit, el índice temporal m representa el tiempo del símbolo y t representa el tiempo analógico. En el modo opcional de M pares, hay M subcapas PMD (*bonding*) independientes activas, una para cada par de cobre. En este caso, n representa el tiempo del bit para cada par de cobre en vez de la velocidad total de la línea del sistema. Las principales funciones de la capa PMD son las siguientes:

- Generación y recuperación de la temporización de símbolos.
- Codificación y Decodificación.
- Modulación y Demodulación.
- Compensación del eco.
- Ecuilibración de la línea.
- Establecimiento del enlace.

Aleatorizador, es aquel que contiene las funciones de alineación y sincronización de las tramas, mientras los bits de sincronismo de trama y los bits de relleno están presentes en $f(n)$, el aleatorizador no los registra y $f(n)$ puede ser conectado

directamente a $s(n)$ (G-991-2, 2003). La recomendación SHDSL permite el uso de diferentes aleatorizadores polinómicos durante las distintas fases de activación. Los polinomios utilizados durante la etapa de preactivación son seleccionados durante la fase de negociación (*handshake*) de la inicialización.

En la figura 3.4 se muestra dos esquemas funcionales del aleatorizador, uno para el canal de bajada (D) y otro para el canal de subida (U).

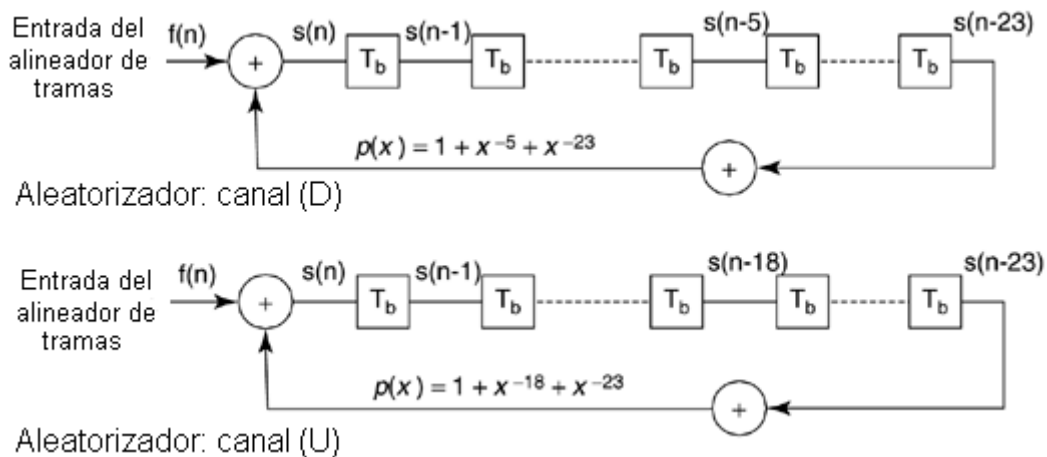


Figura 3.4: Esquema de los canales (D) y (U) del aleatorizador.

Fuente: (ETSI-TS-101-524-2-v1-1-1)

Codificador TCM, la codificación escogida para SDLSL como consecuencia de los estudios de normalización resultó la forma tradicional de Modulación con Codificación Trellis (TCM), en particular con codificación unidimensional $\frac{1}{2}$ en combinación con PAM-16. De esta forma, uno de cada 4 bit que forma cada símbolo PAM es protegido con un potente código convolucional, los restantes bits son transmitidos sin protección.

El resultado es un sistema con modulación PAM de 16 niveles portando 3 bits de información por símbolo y uno de redundancia. Los 2 bits menos significativos son obtenidos de la salida del codificador $\frac{1}{2}$ mientras que los 2 bits más significativos son transmitidos tal como son (G-991-2, 2003). Se escoge la codificación unidimensional por su rápido tiempo de recuperación mientras brinda un rendimiento equivalente a la codificación multidimensional. En la figura 3.5 se ilustra el esquema en bloques del codificador TCM.

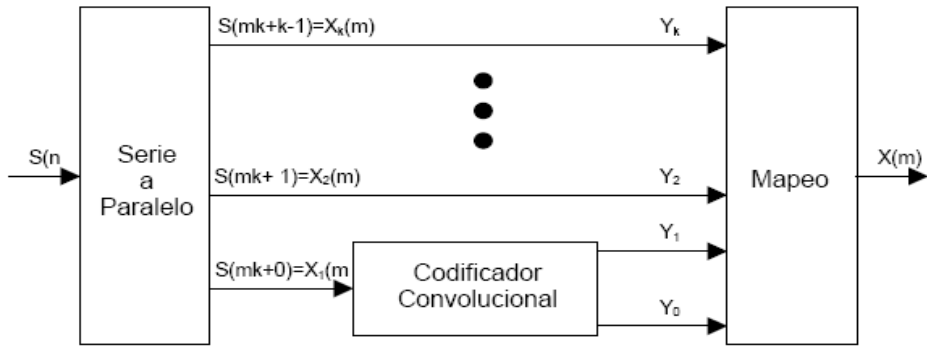


Figura3.5: Esquema del codificador TCM.

Fuente: (G-991-2, 2003)

El flujo de bits serie proveniente del aleatorizador, $s(n)$, será convertido en una palabra de k bits en paralelo $\{X_1(m)=s(mk+0), X_2(m)=s(mk+1), \dots, X_k(m)=s(mk+k-1)\}$ en el intervalo de tiempo del m -ésimo símbolo, donde $X_1(m)$ es el primer bit en el tiempo. El flujo de bits menos significativos procedentes del convertidor Serie-Paralelo pasa al codificador convolutivo, que se muestra en la figura 3.6.

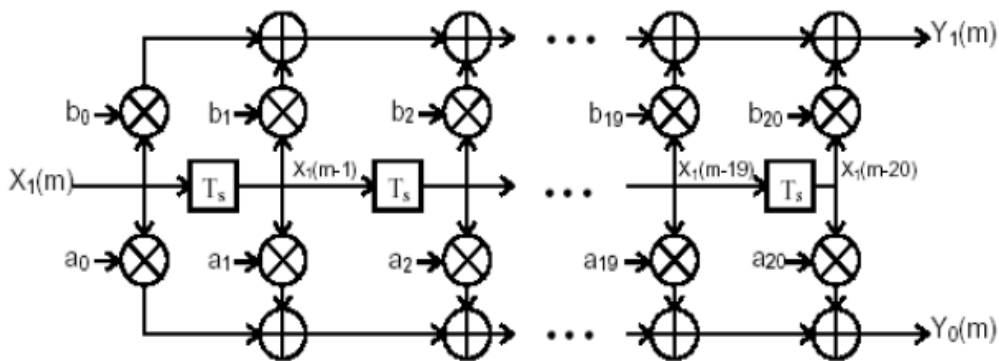


Figura3.6: Esquema del codificador convolutivo.

Fuente: (G-991-2, 2003)

Los códigos convolucionales son particularmente descritos por dos parámetros: la razón de codificación k/n y la longitud de la palabra de código. Donde k representa el número de bits de entrada al codificador convolutivo y n los bits de salida luego de un ciclo de codificación. La longitud de la palabra de codificación M denota la "longitud" de la memoria del codificador convolutivo y da la medida del número de estados $2^{(M-1)k}$ que están disponibles para formar la lógica combinatorial que producirá un símbolo de salida.

Este es un codificador convolucional no sistemático predictivo, donde los bits redundantes se añaden implícitamente en el código, de esta forma los kbits de entrada no aparecen de forma explícita en la palabra codificada.

A diferencia, en los códigos convolucional sistemáticos los k bits de entrada aparecen en los n bits de la palabra codificada o sea el bit de entrada aparece directamente en la salida. T_s es el retardo de un tiempo de símbolo, “+” es el OR exclusivo binario y “x” es el AND binario. $X_1(m)$ se aplica al codificador convolucional, se computan $Y_1(m)$ e $Y_0(m)$ y a continuación $X_1(m)$ se introduce en el registro de desplazamiento.

La utilización de codificadores programables es parte de las especificaciones de los estándares para solucionar la compatibilidad técnica de la codificación unidimensional y garantizar los estrictos requisitos de funcionamiento de los transceptores de SDSL. En la estructura del codificador programable, los coeficientes del codificador son modificados durante el proceso de inicialización determinando que derivaciones del registro de desplazamiento serán tomadas para conformar los bits de salida.

Una representación numérica de estos coeficientes son A y B, donde:

$$A = a_{20}2^{20} + a_{19}2^{19} + \dots + a_02^0 \quad (3_1)$$

$$B = b_{20}2^{20} + b_{19}2^{19} + \dots + b_02^0 \quad (3_2)$$

La selección del código específico será realizada por el fabricante, siempre de manera tal que satisfaga los requisitos de funcionamiento (**G-991-2, 2003**).

Mapeo

Los $K + 1$ bits $Y_k(m), \dots, Y_1(m)$, e $Y_0(m)$ deben hacerse corresponder a un nivel $x(m)$. La tabla 3.1 muestra la correspondencia entre bits y niveles para el caso de PAM-16.

Tabla 3.1: Correspondencia entre bits y niveles de PAM-16

$Y_3(m)$	$Y_2(m)$	$Y_1(m)$	$Y_0(m)$	$x(m)$ para 16-PAM
0	0	0	0	-15/16
0	0	0	1	-13/16
0	0	1	0	-11/16
0	0	1	1	-9/16
0	1	0	0	-7/16
0	1	0	1	-5/16
0	1	1	0	-3/16
0	1	1	1	-1/16
1	1	0	0	1/16
1	1	0	1	3/16
1	1	1	0	5/16
1	1	1	1	7/16
1	0	0	0	9/16
1	0	0	1	11/16
1	0	1	0	13/16
1	0	1	1	15/16

Fuente:(G-991-2, 2003)

Pre-codificador de canal, la figura 3.7 muestra el diagrama en bloque del precodificador de canal. T_s es el retardo de un tiempo de símbolo.

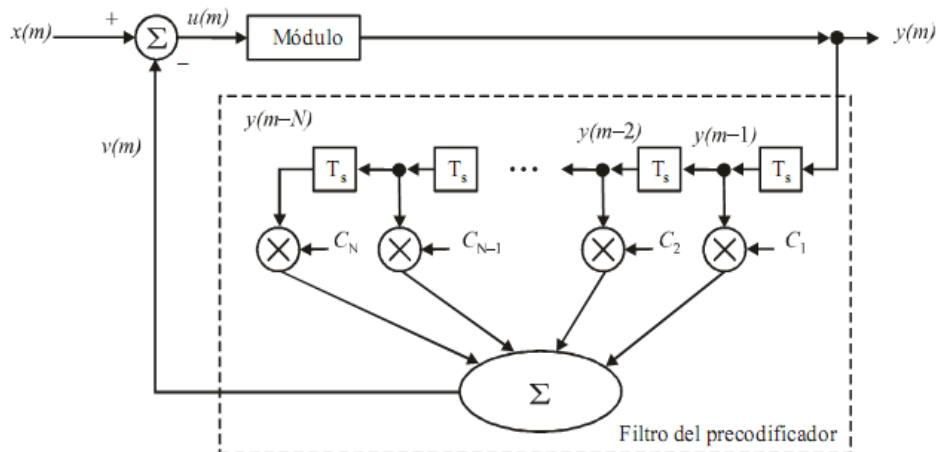


Figura3.7: Precodificador de Canal.

Fuente:(G-991-2, 2003)

Los coeficientes del filtro del precodificador, C_k , deberán transferirse al precodificador del canal en la forma siguiente: Los coeficientes del precodificador se representan como números de 22 bits en complemento a dos, donde los cinco bits más significativos representan números enteros entre -16 (10000) y $+15$ (01111) y los 17 bits restantes los

bits fraccionarios. Los coeficientes se envían correlativamente, empezando por el C_1 y terminando por el C_n , con el bit menos significativo de cada coeficiente en primer lugar.

El número mínimo de coeficientes del precodificador será 128 y el máximo 180. Cuando se utilicen menos de 180 coeficientes de precodificador, los restantes bits del campo se pondrán a cero. La salida del filtro del precodificador, $v(m)$, deberá calcularse del siguiente modo:

$$v(m) = \sum_{k=1}^n C_k y(m-k) \quad (3_3)$$

Siendo $128 \leq N \leq 180$. La función del bloque módulo consistirá en la determinación de $y(m)$ del siguiente modo: para cada valor de $u(m)$, hallar un entero, $d(m)$, tal que:

$$-1 \leq u(m) + 2d(m) < 1 \quad (3_4)$$

Y entonces

$$y(m) = u(m) + 2d(m) \quad (3_5)$$

Conformador Espectral, escogido deberá ser específico de la región (Norteamérica o Europa). Los detalles de la densidad espectral de potencia de estas regiones figuran en los anexos A y B de la recomendación respectivamente (**G-991-2, 2003**). No obstante, SHDSL utiliza para la conformación espectral de la señal un filtro nominal de pulsos NRZ (No Retorno a Cero) de orden 6. La tasa de transferencia de datos del lóbulo principal está determinada por la velocidad de los símbolos (f_{sym}) de la secuencia de pulsos. Por lo que f_{sym} es la relación entre la tasa de bits de la señal de línea (R_b) y el número de bits de información por símbolo PAM:

$$f_{\text{sym}} = \frac{R_b}{N_b} \quad (3_6)$$

La siguiente ecuación define el PSD nominal de SHDSL, que es común tanto para Norteamérica y Europa:

$$\begin{aligned}
& PSD_{SHDSL}(f) = \\
& = \left\{ \begin{array}{l} 10^{\frac{-PBO}{10}} \times \frac{K_{SHDSL}}{135} \times \frac{1}{f_{sym}} \times \frac{\left[\text{sen} \left(\frac{\pi f}{Nf_{sym}} \right) \right]^2}{\left(\frac{\pi f}{Nf_{sym}} \right)^2} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_{3dB}} \right)^{2 \times \text{Orden}}} 10^{\frac{MáscaraOffsetdB(f)}{10}}, \quad f < f_{int} \\ 0,5683 \times 10^{-4} \times f^{-1,5}, \quad f_{int} \leq f \leq 1,1 \text{MHz} \end{array} \right\} \\
& MáscaraOffsetdB(f) = \begin{cases} 1 + 0,4 \times \frac{f_{3dB} - f}{f_{3dB}}, & f < f_{3dB} \\ 1, & f < f_{3dB} \end{cases} \quad (3_7)
\end{aligned}$$

De donde:

PBO: es el valor de la reducción de potencia en dB.

$f_{intercepción}$: es la frecuencia a la que se cruzan dos frecuencias que controlan $PSD_{SHDSL}(f)$ en el intervalo de 0 a f_{sym} .

K_{SHDSL} : es el coeficiente de expansión del PSD.

N: es el factor de la formación PSD, igual a 1 para todas las velocidades de bits.

f_{3dB} : es la frecuencia de corte del filtro a 3dB.

Orden: es el orden del filtro, este valor depende del número de estados de PAM.

f_c : es la frecuencia de corte del filtro de acoplamiento.

En ambiente de simulación la potencia de transmisión (P_{SHDSL}) se mide sobre 135Ω y con una reducción de potencia de 0dB. Para valores de reducción de potencia $\neq 0$, la potencia de transmisión quedará en el intervalo $P_{SHDSL} \pm 0,5$ menos el valor de reducción de potencia en dB. La PSD de transmisión medida sobre 135Ω siempre estará por debajo de $PSD_{SHDSL}(f)$.

Reducción de Potencia, los dispositivos SHDSL deberán implementar la reducción de potencia especificada en la recomendación UIT-T G.991.2. Los valores seleccionados se comunicarán durante la preactivación utilizando la selección de parámetros G.994.1. El valor de la reducción de potencia deberá cumplir los requisitos que se muestran en la tabla 3.2. Los cálculos de la reducción de potencia se realizarán de acuerdo con la EPL (*EstimatedPowerLoss*, Atenuación de Potencia Estimada), definida como:

$$EPL (dB) = \text{Potencia Tx (dBm)} - \text{Potencia Rx estimada (dBm)} \quad (3_8)$$

Correspondiente a la densidad espectral de potencia en modo datos. No se define en esta recomendación (2003) el método de cálculo de la potencia Rx estimada. Dependiendo de la aplicación, este valor puede calcularse a partir de los resultados del sondeo de línea, de los conocimientos a priori, o de los niveles de tono G.994.1. La reducción de potencia aplicada deberá estar comprendida entre el valor por defecto y el máximo, y no deberá exceder el valor de reducción de potencia máxima.

Tabla 3.2: Valores de los requisitos de reducción de Potencia.

Atenuación de potencia Estimada (dB)	Reducción de potencia Máxima (dB)	Reducción de potencia Por defecto (dB)
$EPL > 6$	31	0
$6 \geq EPL > 5$	31	1
$5 \geq EPL > 4$	31	2
$4 \geq EPL > 3$	31	3
$3 \geq EPL > 2$	31	4
$2 \geq EPL > 1$	31	5
$1 \geq EPL > 0$	31	6

Fuente:(G-991-2, 2003)

En el modo de cuatro hilos o en el modo de M pares, el valor PBO-1 de reducción de potencia se asignará al par en que se realiza la última transacción según el método G.994.1. El valor PBO-2 de reducción de potencia se asignará al par o pares restantes(G-991-2, 2003).

3.2 Estándares de la tecnología SDSL (Evolución)

SDSL fue reconocida durante mucho tiempo bajo la recomendación G.SHDSL que se diseñó para los negocios que requerían transferencia de datos de alta velocidad en ambas direcciones, luego fue aprobado por la UIT en febrero de 2001 la recomendación G.991.2 y por el ETSI en marzo de 2003 el estándar TS 101 524, con el objetivo de obtener una tecnología con las mismas prestaciones que la tecnología HDSL. Puesto que SDSL se estandarizó con posterioridad a ADSL, se tuvo en cuenta su compatibilidad con ésta tecnología al definir los estándares (**xDSLtutorial**), (**DSL Forum**), (G-991-2, 2003).

En la tabla 3.3 se muestra una lista evolutiva y comparativa de las técnicas de acceso simétricas. En general, no hay grandes diferencias hasta HDSL2, desde el punto de vista

de las prestaciones que ofrecen cada una de estas técnicas de acceso, aunque, no obstante, son marcadas en cuanto a las formas de implementación de cada una de ellas, la diferencia entre alcance, y flujo es una consecuencia directa de la implementación novedosa de la técnica de codificación TC PAM. SHDSL (SDSL estandarizado) que representa el estándar universal, aprovecha los adelantos de la electrónica en el desarrollo de DSP's específicos y de VLSI para resultar en una tecnología mucho más robusta.

Tabla 3.3: Comparación entre las tecnologías HDSL y SDSL

	HDSL	SDSL	HDSL2	SHDSL
Tasa de transferencia	T1	192kbps - 2.3Mbps	T1	192kbps - 2.312Mbps o 384kbps - 4.624Mbps
Pares de Cobre	2	1	1	1 o 2 (opcional)
Código de Línea	2B1Q	2B1Q	TC PAM	TC PAM
Margen de Ruido	6 dB	5 dB	5 dB	5 dB
Pre Activación	No tiene	Privado	Norma Base	G.994.1 (g.handshake)
Tasa de Adaptación	No	Si	No	Si
Interrupciones	No	No	Si	Si
Repetidores	Si	No	Si	Si
Reloj (Sincronización)	Plesiócrono	Síncrono	Plesiócrono	Ambos
Span de Energía	Si	Si	Si	Si

Elaborado por: Autor

3.3 SHDSL “Estándar Universal”

SHDSL es un estándar desarrollado para ser la convergencia de tecnologías DSL simétricas (HDSL-2 y SDSL) y abarcar a su vez todas las funciones que son proporcionadas por estas. SHDSL resulta en un estándar reconocido mundialmente. Gracias a la recomendación G.991.2bis la tecnología alcanza una ampliación sustancial de la tasa de transferencia a través de la unión de varios módems “*Extended Rate Bonded SHDSL*”.

Este logro proporciona posibilidades sin precedentes en los accesos simétricos vía cobre. SHDSL emplea el código de línea TC-PAM a diferentes niveles (16/32/64/128) según los requerimientos de tasa de transmisión, la cual es de hasta 15,2 Mbps (TCPAM-128) empleando un solo par. Por otro lado la baja complejidad de los procesadores digitales de señales SHDSL permite una mayor y mejor integración de los chips. Estas ventajas permiten la implementación de extensiones de LAN's y accesos

de Internet, alta flexibilidad para el albergue de *hosts*, servicio de videoconferencia y, en general, para un fuerte tráfico de datos simétrico (Trend-Communications), (**G-991-2-Enmienda-2, 2005**).

En la Tabla 3.4 se ilustran algunos rasgos característicos importantes de la tecnología SHDSL bajo distintas recomendaciones en que está estandarizada.

Tabla 3.4: Principales características del estándar G. SHDSL.

	ITU G. SHDSL G.991.2		
	ANSI	ANSI Anexo A	ETSI Anexo B
Un par	HDSL 2	MultiRate HDSL 2	ETSI-SDSL TS 101524-1
Código de línea	PAM-16, 4B1H, 3 bits de información, 1 bit redundante para cada código Trellis		
Tasa de Transferencia	1.552 Kbps	144-1.552 Kbps	192-2.320 Kbps
Frecuencia de Nyquist	260 KHz	-260 KHz	-387 KHz
Máximo alcance	2.8 Km	2.8 Km	2.4 Km
Principal Aplicación	Sustitución T1	Empresas/SOHO	Empresas/SOHO

Elaborado por: Autor

Mientras HDSL se limita a transportar señales TDM (Multiplex por División en el Tiempo) como E1/T1, SHDSL además, transporta señales ATM y MPLS lo que hace de esta técnica un componente esencial de los equipos DSLAM. El estándar de la ITU para SHDSL establece una banda de transmisión de 192 Kbps a 2,36 Mbps (TCPAM-16) con incrementos de 64 Kbps en Norte América y 8Kbps en Europa.

Esta posibilidad de variar la velocidad del enlace posibilita a los proveedores hacer un juego con la relación velocidad/distancia además de posibilitar otras formas de negocios para las operadoras, que no serían posibles a una velocidad fija. Para negociar las condiciones del enlace se define el estándar *G.handshake* (G944.1) para la fase de preactivación. La existencia de este estándar asegura la interoperabilidad entre todos los fabricantes. Este estándar tiene dos modos de funcionamiento: un terminal dicta al terminal remoto la velocidad del enlace o bien se negocia entre los dos terminales, está

en función de la distancia y el estado de la línea(G-991-2, 2003), (G-991-2-Enmienda-2, 2005).

3.3.1 Estándares de SHDSL

SHDSL ha sido estandarizado por tres cuerpos de estandarización:

- ITU - T (G.991.2) de manera global
- ANSI (T1E1.4/2001-174) para Norte América
- ETSI (TS 101 524 Anexo E) para Europa

Las diferencias entre estos estándares son mínimas, solo añaden información sobre las condiciones del bucle y servicios opcionales dependiendo de la infraestructura de cada zona. Sin embargo, la mayoría del *hardware* destinado a SHDSL es compatible con los tres. La recomendación de la UIT G.991.2, de acuerdo a los requerimientos de SHDSL y del mercado DSL en general se actualiza ocasionalmente con nuevos anexos(G-991-2-Enmienda-2, 2005).

3.3.2 Compatibilidad espectral.

La compatibilidad espectral es una función entre la señal recibida y la señal de interferencia. Esta señal se conforma en frecuencia para mejorar la compatibilidad espectral propiamente dicha respecto a otros sistemas que compartan la línea, como ADSL. Existen una serie de factores que influyen en la interferencia producida en el par de cobre y degradan por tanto, la señal deseada. El estándar SHDSL fue desarrollado para tratar no solo ediciones de la interoperabilidad sino también las características espectrales de la línea existente, codificación y técnicas de transmisión comunes en las redes.

En ADSL la transmisión se realiza de forma analógica por encima de la banda vocal para no producir interferencias, lo que presenta problemas de rendimiento a altas frecuencias, donde existe mayor atenuación en la banda, lo que aumenta la sensibilidad a ruidos. SHDSL emplea la banda baja de frecuencias implementando conceptos avanzados de conformación espectral y códigos de corrección de errores para obtener desempeños cercanos al límite teórico de Shannon (La ley de Shannon-Hartley está

relacionada con la capacidad de un canal de transmisión limitado en banda en presencia de ruido blanco gaussiano aditivo).

El corazón de SHDSL es el uso de la codificación TC-PAM lo que aumenta la velocidad de transmisión y permite la simetría. Este tipo de codificación presenta un algoritmo de baja complejidad y baja latencia, necesaria para el tráfico de voz. Además proporciona una plataforma robusta sobre una gran variedad de tipos de bucle y las condiciones externas que puedan alterar la señal, relación (“velocidad/distancia adaptativa”). De esta manera SHDSL se adapta dinámicamente a las características de los pares y consigue una buena relación velocidad/distancia (Trend-Communications).

3.4 Funcionamiento del transreceptor SHDSL

El esquema en bloque funcional de un transreceptor SHDSL es el que se muestra en la figura 3.8. Los canales de subida y de bajada comparten la misma banda de frecuencia, por lo que la cancelación de eco es el método utilizado para separar la dirección de transmisión en estos canales. Frecuentemente el módem hace barridos en todo el espectro frecuencial destinado a SHDSL. De esta manera mantiene una tabla con la SNR (relación señal a ruido) de cada bloque. Cada vez que se quiera enviar un paquete de datos, se hará por el canal con la mejor relación señal a ruido, o en segunda instancia, por el canal menos saturado; pero siempre respetando el orden de preferencias de la tabla (G-991-2, 2003), (G-991-2-Enmienda-2, 2005).

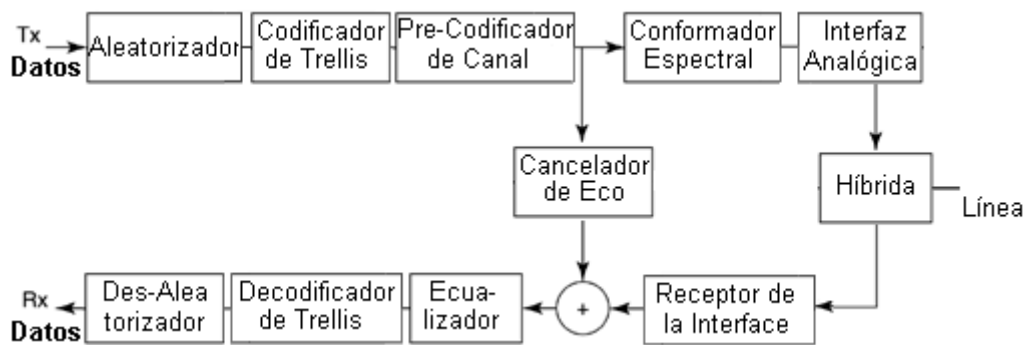


Figura 3.8: Estructura funcional del transmisor-receptor de un módem SHDSL.

Fuente: (G-991-2, 2003)

En transmisión, el flujo de datos que viene desde la fuente se hace pasar primero por un codificador el cual es el encargado de asignar el código de línea correspondiente, según la aplicación, a la señal de datos que será más tarde puesta en la línea. El empleo de los códigos de línea se justifica por sus características y según cuál sea, son capaces de

mover los componentes espectrales de una señal a las altas frecuencias o bien, disminuir la velocidad de señalización, métodos ambos que son utilizados en la cancelación de la diafonía cercana fundamentalmente.

Luego de ser codificada, la señal se hace pasar por un filtro transmisor el cual se encarga de hacer la conformación espectral de la señal, donde se aplica la máscara OPTIS, esto brinda a SHDSL mayor robustez frente al ruido y posibilita la compatibilidad con el resto de las tecnologías de acceso. Los dispositivos implicados en la transmisión se ponen de acuerdo para que la relación velocidad/distancia sea aceptable.

Los canales con pérdidas presumiblemente mayores se utilizarán menos y los que atenúen poco recibirán más tráfico. El resultado será una mejor relación velocidad/distancia, y la mínima atenuación que sufrirá todo el conjunto de señales transmitidas así como la posibilidad de elección entre gran ancho de banda o mayor distancia con la central (Trend-Communications).

Para la recepción, el decodificador utiliza el algoritmo de Viterbi para recobrar la información original. Ya que este esquema no permite el uso de un ecualizador de realimentación de la decisión, se introduce por medio de un precodificador Tomlinson una predistorsión dependiente del canal a la señal.

El desarrollo electrónico, de los DSP's y los VLSI, que son los dispositivos que intervienen en la eliminación de la ISI en los módems xDSL, garantiza la corrección de señales afectadas por las distorsiones que introduce el canal de comunicación. Ello ha permitido que el umbral mínimo para la detección de los dígitos por parte de los módems sea cada vez más pequeño (hoy día se detectan señales con un nivel inferior a los 10 mV). Firmas como Motorola, PairGain, *Mindspeed* y Conexant son líderes en este sentido (Trend-Communications).

La limitada distancia que debe separar al abonado de la central es el mayor de los inconvenientes de xDSL, que poco a poco con los nuevos estándares va mejorando. Esto ocurre porque para enviar grandes cantidades de datos se necesita un gran rango de frecuencias, y cuanto más alta sea la frecuencia más se atenúa la señal en relación a la

distancia y más caros son los equipos que deben decodificar estas señales, pues deben ser más sensibles.

Frente a este problema SHDSL se posiciona como la mejor solución xDSL simétrica, pues consigue mayor distancia y mayor velocidad que las soluciones anteriores. SHDSL permite instalar hasta 4 repetidores de señal (en cada par del bucle) para extender la señal más allá de las especificaciones iniciales, si fuera necesario. Mientras que ADSL emplea un uso compartido con la voz, la tecnología SHDSL no puede usarse al mismo tiempo que la voz ya que toda la línea está dedicada a ella. Este inconveniente se subsana al poder ofrecer servicio de VoIP (Transmisión de Voz sobre Protocolo Internet) y una política de QoS (Calidad de Servicio), pues obliga a asegurar un flujo de datos constante entre las partes afectadas (Trend-Communications).

3.5 Aplicaciones y Servicios de la tecnología SHDSL

La tecnología SHDSL ofrece una serie de aplicaciones prácticas, que benefician su despliegue en disímiles empresas, algunas de estas aplicaciones son:

- Asignación dinámica del AB para voz y datos.
- Telemedicina
- Proveedor de Múltiples Canales de Voz.
- Servicio de VoIP (En la figura 3.9 se muestra un escenario del servicio de VoIP).
- Videoconferencia en conjunto con otros servicios.
- Enlaces T1 o E1 para Sistemas Celulares (En la figura 3.10 se muestra un escenario de sistemas celulares que realizan esta aplicación).

Debido al carácter simétrico de la tecnología, su principal ámbito de aplicación son las grandes compañías, y SOHO (*Small Office-Home Office*, Pequeña Oficina-Oficina en Casa), que necesitan no sólo recibir, sino también enviar gran cantidad de información a una velocidad estable, al contrario de los usuarios residenciales, cuyo principal interés es recibir (descarga de música, vídeos, programas, etc.). No obstante, SHDSL es también una atractiva opción para abonados individuales, ya que garantiza servicios como:

- Teletrabajo.
- Aprendizaje a distancia.

- Comercio electrónico y otras.

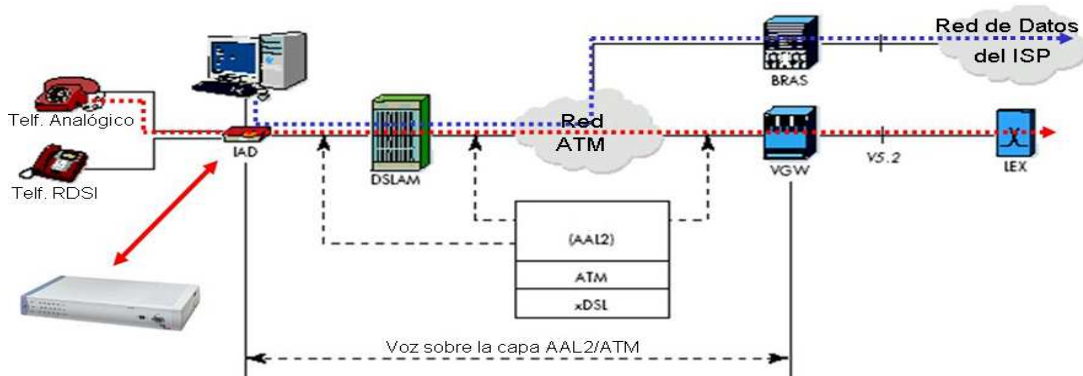


Figura3.9: Servicio de VoIP
Fuente:(Trend-Communications).

Aunque SHDSL no comparte la transmisión de datos al unísono con el canal de voz convencional como ADSL, si permite el transporte de voz a través de VoIP o de sistemas con VoDSL (Voz sobre DSL). Esto permite una gran interoperabilidad para el suministro de distintos servicios de alta velocidad, como Internet, accesos LAN y Webhosting, por mencionar algunos. Otra de las aplicaciones que tiene SHDSL, dentro del escenario de reemplazo de E1/T1, es su empleo dentro de la infraestructura de las redes celulares específicamente en el enlace de radio bases con la central de conmutación local. En la figura 3.10 se observa dicho proceso.

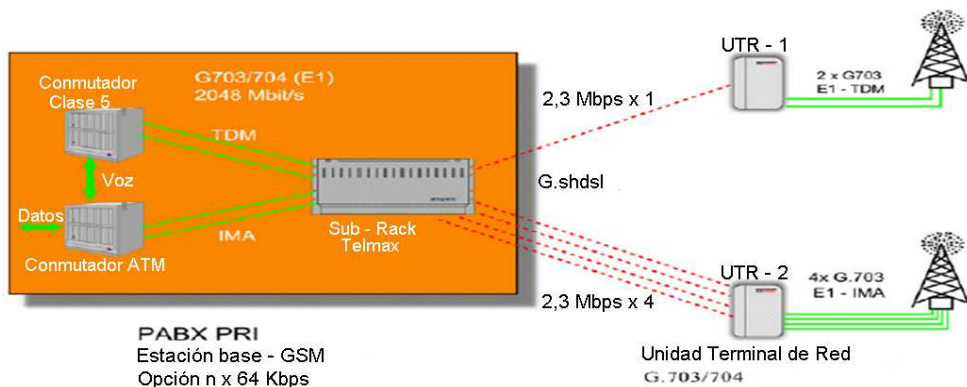


Figura3.10: Aplicación típica G.SHDSL en redes celulares
Fuente:(Trend-Communications).

En la central; el DSLAM, que contiene las tarjetas de línea SDSL/SHDSL se conecta a los DACS (Digital Access Carrier System o Portador de Sistema con Acceso Digital) luego de convertir la información a protocolos G.703 (estándar que define las características físicas y eléctricas para transmitir voz o datos sobre canales digitales). En

el extremo del abonado, el módem SHDSL tiene una salida convertida a un G.703, el cual se conecta a la celda de telefonía móvil existente en el lugar.

Este esquema muestra la interoperabilidad de estos sistemas con los servicios existentes, ya que las posibilidades de conversión a la salida de cada uno de los equipamientos DSL permite el funcionamiento transparente de cada una de las aplicaciones que ya se encuentran funcionando. Con los equipos SHDSL pueden sustituirse los canales E1 y T1 necesarios entre las celdas y la MSTO (*Mobile Telephone Switching Office*, Oficina Conmutadora de Teléfonos Móviles). Esta aplicación, también es interesante para los portadores (*carriers*) inalámbricos que deben alquilar enlaces E1 ó T1 a proveedores de telefonía locales. En este caso en particular, las operadoras de portadores inalámbricos pueden obtener significativas reducciones de costos alquilando a la operadora local solamente las líneas de cobre (líneas arrendadas), y desarrollando sus propios enlaces T1 ó E1 con tecnologías DSL, sin necesidad de arrendar los servicios de los enlaces T1 ó E1.

La figura 3.11 ilustra un proveedor de servicios y el entorno de aplicaciones de acceso que puede soportar SHDSL. A nivel mundial había hasta el año 2002 más de 196 millones de líneas de acceso E1/T1 en uso, de acuerdo con *Chaners In-Stat* (es un catálogo de computo de mercado dinámico). Hoy día la mayoría de estas líneas se han sustituido con SHDSL para respaldar aplicaciones de mayor tasa de transferencia que las que soportan las líneas E1/T1, así reducir los costos operativos (**netSys**), (**DSL Forum**).

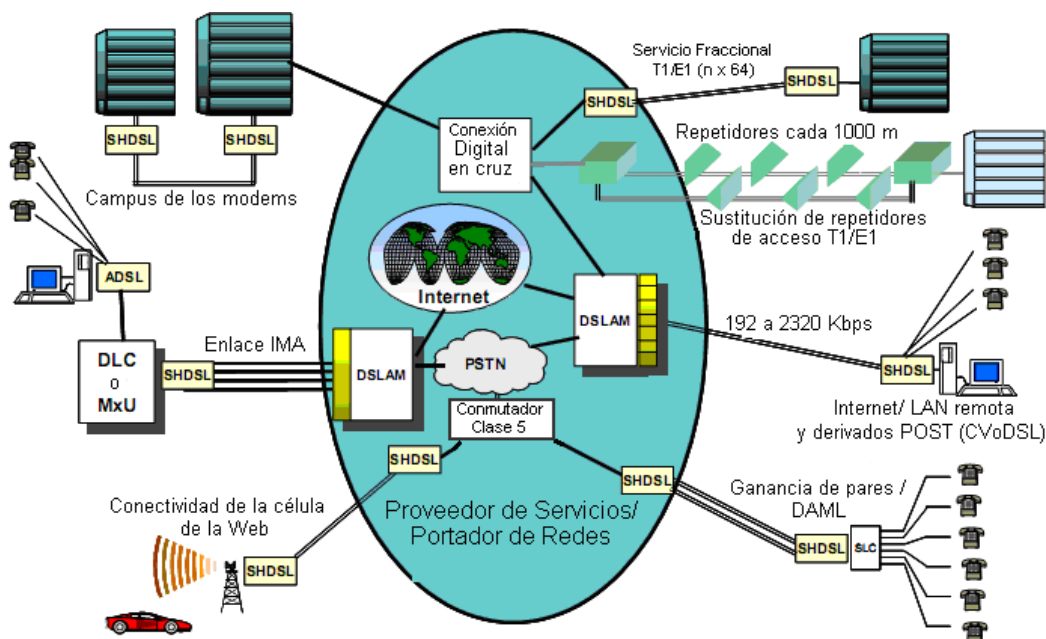


Figura3.11: Aplicaciones de acceso de SHDSL.

Fuente:(netSys)

3.6 Aspectos económicos de SDSL y SHDSL

SDSL/SHDSL y ADSL son técnicas de bajo costo en cuanto a instalación y equipamiento, de ahí que sean las tecnologías xDSL de mayor demanda a nivel mundial. Dentro de este marco existe una gran rivalidad competitiva entre las empresas o proveedores que brindan servicios bajo estas normas. Rivalidad que siempre dominará aquella empresa que brinde mejores servicios con mayor facilidad de pagos.

En la tabla 3.5 se ilustra una comparación de precios entre las tecnologías SDSL y ADSL para distintas empresas proveedoras.

Tabla 3.5: Comparativa de precios entre ADSL y SDSL, en los diferentes servicios desplegados por las compañías más importantes de España (Datos 2005).

Compañía	Tecnología	Servicio	(1) Subida	(1) Bajada	(2) Alta	(2) Cuota
Jazztel	SDSL	400 Kbps	400/40 Kbps	400/40kbps	150 €	73 €
Jazztel	SDSL	800 Kbps	800/80 Kbps	800/80 Kbps	150 €	128 €
Jazztel	SDSL	1,2 Mbps	1200/120 Kbps	1200/ 120 Kbps	150 €	164 €
Telefónica	ADSL	512 Kbps	128/12,8 Kbps	512/51,20 Kbps	38,10 €	74,98 €
Telefónica	ADSL	1000 Kbps	300 / 30 Kbps	1000 / 100 Kbps	38,10 €	120 €
Telefónica	ADSL	2000 Kbps	300 / 30 Kbps	2000 / 200 Kbps	38,10 €	150,57€
Colt Telecom	SDSL	256 Kbps	256 / 192 Kbps	256 / 192 Kbps	200 €	145 €
Colt Telecom	SDSL	512 Kbps	512 / 384 Kbps	512 / 384 Kbps	200 €	244 €
Arsys3	ADSL	512 Kbps	128/ 2,8 Kbps	512/51,2 Kbps	-	80,04€
Arsys3	ADSL	2000 Kbps	300 / 30 Kbps	2000 / 200 Kbps	-	161,24€

Fuente:(netSys)

Leyenda:

1: Tasa de Pico (Mínimo de tasa de transmisión que garantiza la empresa)

75% para Colt Telecom y 10% para las compañías restantes

2: Cuota adicional no incluida (I.V.A 16 % no incluido)

3: Arsys ofrece *router* e IP Fija gratis

Bajada: sentido red----usuario

Subida: sentido usuario-----red

3.7 SHDSL: Técnica de Enlace (*bonding*).

Debido a la alta flexibilidad de configuración que brinda SHDSL, los equipos que desarrollan esta tecnología pueden agrupar dos *módem* en uno (redundancia), con un circuito entramador (*framer*) para garantizar el sincronismo y la conmutación al *modem* de reserva en caso de interrupción en los pares de cobre de uno de los sistemas.

Implementando hasta 4 pares de cobre se garantiza un incremento sustancial de la tasa de transferencia. El éxito de este proceso depende en gran medida de la calidad, el calibre y el tipo de cobre que se emplee (24 AWG recomendado). Existe un aspecto muy importante a la hora de aplicar la técnica de *bonding* es la relación inversamente proporcional que existe entre la tasa de transferencia y el alcance efectivo de la señal. A medida que aumenta la velocidad de transmisión de datos disminuye la distancia de alcance efectivo de la señal. En fin, la técnica de *bonding* se utiliza cuando es necesario disponer de altas tasas de transferencias entre redes LAN, de modo que con varios pares se puede transmitir 2,6 Mbps por cada uno de ellos.

Algunas firmas como C-Com, Orión, y AT&T Corporation han fabricado *routers* con posibilidades de velocidades de 5.69, 11.38 y 22.76 Mbps empleando uno, dos y cuatro pares telefónicos, respectivamente, manteniendo un alcance de hasta 3 Km, en dependencia de la calidad y el tipo de líneas (G-991-2, 2003). La unión DSL puede implementarse empleando varias técnicas basadas en diferentes estándares. En este marco existen tres técnicas fundamentales (Trend-Communications):

➤ **Enlace de Capa Física (PHY Layer Bonding)**

Consiste en agrupar diferentes tipos de enlaces físicos de transporte de datos de un número de líneas DSL en conjunto. De tal manera que se proporcione una única conexión de mayor tasa de transferencia de datos. El enlace de capa física tiene la ventaja de ser un protocolo transparente, sin embargo es un tanto inflexible en términos de agrupamiento de las líneas individuales. SHDSL es la única técnica de acceso que brinda esta solución como una función estándar. SHDSL limita el enlace (*bonding*) a un máximo de 4 pares (G-991-2-Enmienda-2, 2005).

➤ **Multiplexación Inversa para ATM (IMA)**

El IMA es una técnica de “bonding” a nivel de protocolo no se implementa a nivel de *hardware*. IMA añade un protocolo de capa intermedia entre los protocolos de la capa física y la capa ATM que se implementan en el CPE (equipo situado en el lado del cliente) y dentro de nodo de acceso del proveedor de servicios. Mediante el uso de este protocolo de capa intermedia, IMA puede agrupar hasta 32 líneas DSL para formar un solo enlace (ATM-Forum, 1999).

➤ **Multienlace Punto a Punto (MultiLink PPP)**

El multienlace punto a punto es otra técnica de “bonding” a nivel de protocolo. Se emplea para agrupar varias conexiones punto a punto en un paquete virtual. En muchas implementaciones, ML-PPP forma parte de la IP sobre la pila DSL. Por lo tanto ML-PPP es otra técnica capaz de proporcionar una conexión de transporte agregado. Al igual que IMA, la técnica ML-PPP debe ser aplicada en el CPE. En los casos en que los proveedores de servicio internet y servicio DSL estén separados, la técnica ML-PPP puede ser aplicada por cualquiera de ellos.

Para los servicios que se limitan a 4 pares como es el caso de SHDSL, el enlace de capa física (PHY *Layerbonding*) es la opción más transparente que se puede aplicar, ya que admite señales TDM, ATM etc.

3.8 Enlace de Capa Física (PHY *LayerBonding*)

La capa TPS-TC (Capa de convergencia de transmisión específica del protocolo de transmisión) depende de la técnica de acceso y su función en este caso consiste principalmente en el empaquetado de los datos de usuario dentro de la trama SHDSL. TPS-TC soporta datos de tasa fraccional y completa T1 y E1, datos T1/E1 no alineados, datos ATM y otros.

Las capas de aplicación invariable (PMD y PMS-TC) por debajo de la TPS-TC generan los marcos básicos de transporte y los transmiten como un flujo de bits a través del enlace DSL. Cuando se aplica el enlace de capa física (2 o más PMD), una capa especial

TPS-TC entrama (frames) los datos en las estructuras de carga de dos líneas SHDSL en vez de una. Este esquema se muestra en la figura 3.12.

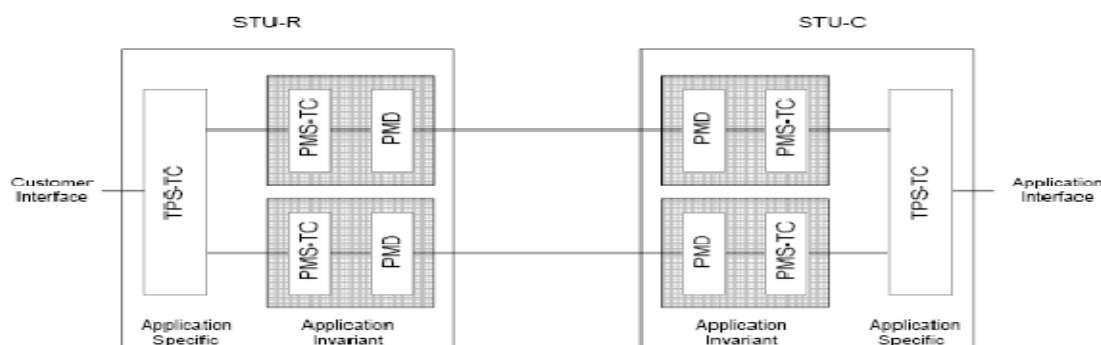


Figura3.12 Enlace de Capa Física

Fuente: (ATM-Forum, 1999)

El enlace de capa física SHDSL se implementa a nivel de *hardware*. La técnica se realiza mediante la combinación de más de un transceptor (PMD) y cada uno ofrece la misma tasa de transferencia por cada par. Esta cantidad de transceptores que son proporcionales a la cantidad de pares de cobre está regulado. Según la Recomendación G.991.2 soporta un máximo de 4 transceptores = 4 pares de cobre, ello basado en estudios de normalización. Esto beneficia a empresas que buscan intercambiar servicios de líneas arrendadas y servicios punto a punto. Ello les ofrece una solución más rentable. Por esta razón el “*bonding*” SHDSL es una técnica muy explotada en el mercado mundial (**Trend-Communications**), (**G-991-2-Enmienda-2, 2005**).

Nathan Hill-Haimés, Director General de *GestionedCommunication* (Empresa Privada de Telecomunicaciones en Inglaterra) líder del mercado británico que en su catálogo comprende la fabricación de módems que soportan la técnica de *bonding* declaró: “La unión ADSL y SDSL ofrece una alternativa más económica a los precios elevados que exigen nuestras centrales privadas por líneas arrendadas a los clientes. Nuestra tecnología es apoyada por BT y deseamos ofrecer el servicio a más clientes, con una oferta siempre accesible y competente” (**DSL Forum**). *GestionedCommunication* es además, un operador de red virtual especializado, enfocado en proveer redes de datos.

3.9 Tecnología SHDSL a nivel de *Chip*

Algunas de las empresas líderes proveedoras de módems, redes de acceso y servicios de redes son:

- Conexant
- American Bell
- ParGain
- Mindspeed
- Alcatel Telecom
- Huawei
- Telindus
- OneAccess

En los modem SHDSL y xDSL en general, vienen integrados de fábrica capacidades de procesamiento en la interfaz de usuario que los convierten en equipos integradores de gran versatilidad para todas las necesidades de los usuarios (capacidad de ruteo, voz sobre IP, etc) (T1-422, 2003). En la figura 3.13 se muestra el esquema en bloque de un *chipset*xDSL.

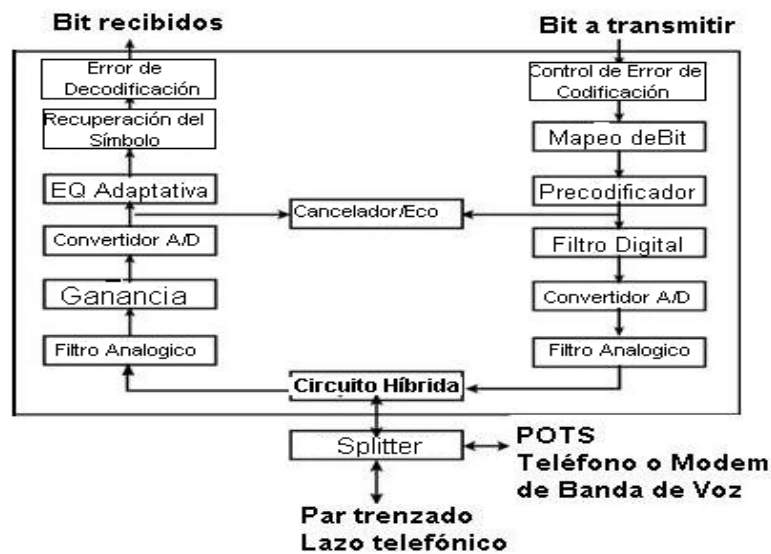


Figura3.13 Estructura de un *chipset*xDSL

Fuente:(T1-422, 2003)

xDSL2 es un clásico *chipset* DSL desarrollado por GlobespanVirata, compañía que fue adquirida por Conexant. Los productos GlobespanVirata actualmente salen bajo la firma Conexant, mientras que algunas líneas de productos de telecomunicaciones de Conexant salen bajo la firma *Mindspeed*(datasheetarchive, 2002).

Algunas de las características principales del *chipset* xDSL2 son:

- Transceptor de alta tecnología en cuanto al DSP.
- Óptimas características de eficiencia contra consumo de potencia.
- Soporta modulación PAM, 2B1Q, y QAM.
- Tasa de Transferencia hasta 4,6 Mbps (Sobre 2 pares de cobre)

El *chipset* xDSL2 de la compañía GlobespanVirata es un IC (*Integrated Circuit*, Circuito Integrado) que contiene varios *chips* de bajo consumo. Estos *chips* son completamente programables y actualizables con el fin de eliminar el riesgo de obsolescencia del producto (*modem*) y acelerar además el tiempo de salida de este al mercado. El xDSL2 se integra por 3 *chips*:

- 1 DSP (144 LPQ2-GS2237) de doble canal que integra dos *chips* DSL en un solo dispositivo, como se muestra en la figura 3.14 a
- 2 Interfaces Analógicas cada una con un Controlador Integrado de Línea ILD2(28 EPTSSOP-GS3137) como se muestra en la figura 3.14 b.

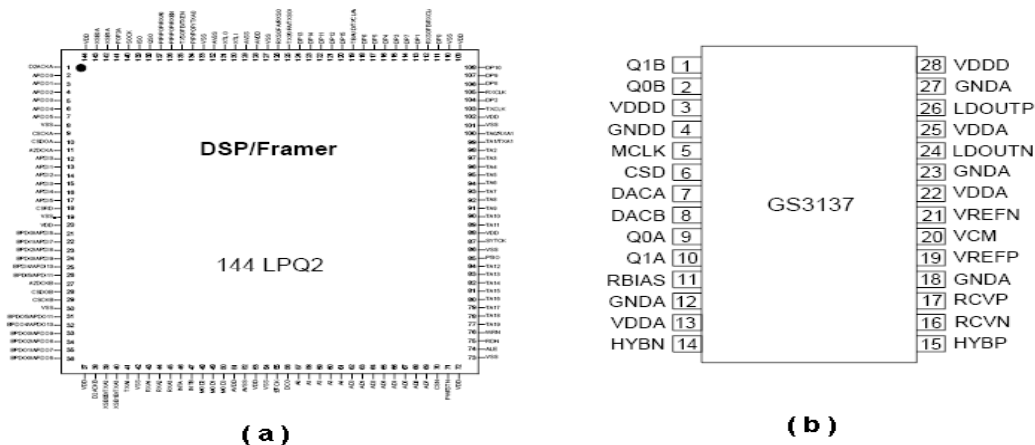


Figura 3.14: DSP (144 LPQ2-GS2237) y AFE/Line Driver (28 EPTSSOP-GS3137)
Fuente: (datasheetarchive, 2002)

El *chipset* xDSL2 soporta señales SHDSL, SDSL/2B1Q, SDSL/CAP y SDSL/PAM, de acuerdo con la hoja de datos. En la figura 3.15 se ilustra el diagrama en bloque del *chipset* xDSL2 de los *módem* Crocus SHDSL (Proveedor Telindus) mostrado en la figura 3.16.

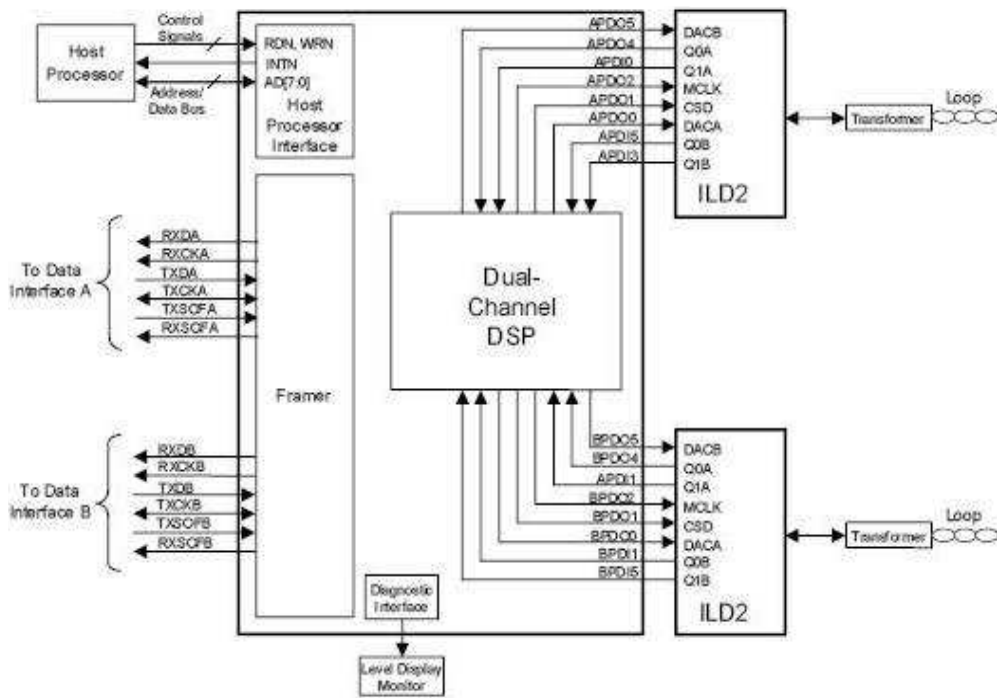


Figura3.15: Diagrama funcional del chipset xDSL2 a 2 pares

Fuente:(datasheetarchive, 2002)



Figura3.16: MódemCrocus SHDSL (proveedorTelindus)

Fuente: (oneaccess-net)

Otro *chipset* de gran demanda es el M28975 (*Mindspeed*), un transreceptor con microprocesador incorporado. El diagrama en bloque funcional del M28975 se muestra en la figura 3.17. Cuyas características fundamentales son(**datasheetcatalog, 2005**):

Transreceptor altamente integrado que incluye:

- Microprocesador (8051)
- ROM/RAM

- Sintetizador de Frecuencia
- DSP/Framer (M28945) [Procesador Digital de Señales con Entramador]
- AFE (M28927) (*Analog Front End, Interfaz Analógica*), la interfaz AFE se compone del Controlador de Línea (*Line Driver*), resistencias adaptadoras de impedancias, la híbrida externa y el transformador.

Vario Modos de Operación:

- ITU-T G.shdsl (ITU-T G.991.2)
- ITU-T G.handshake (ITU-T G.994.1)
- HDSL (ITU-T G.991.1, ETSI 101 135 and ANSI TR-28)
- Otros

Bajo Consumo de Potencia y Tasa de transmisión de 64 Kbps – 4.6 Mbps.

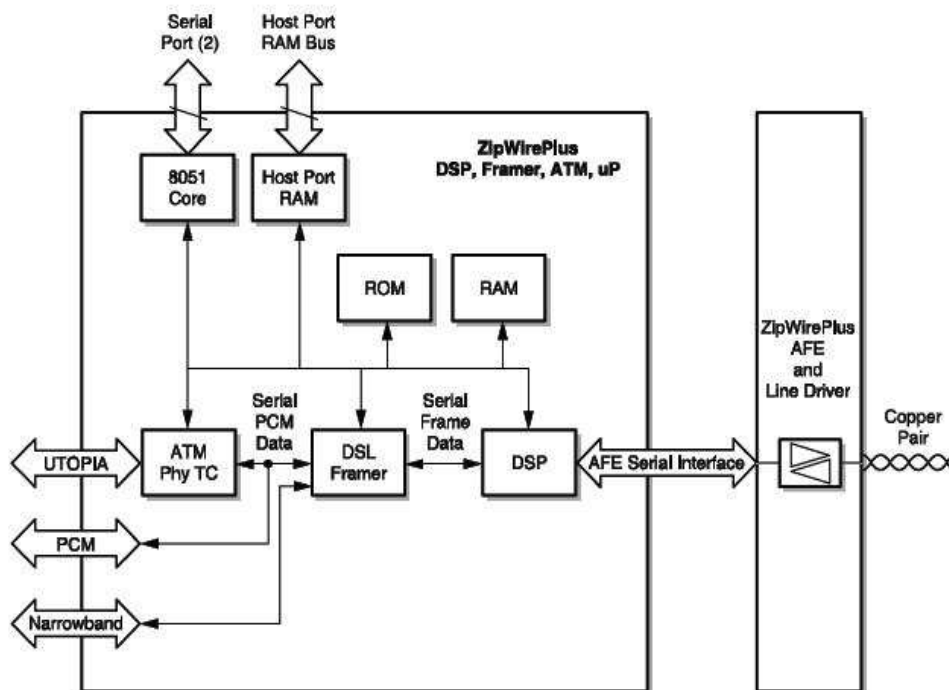


Figura3.17: Diagrama en bloque funcional del chipset M28975

Fuente:(datasheetcatalog, 2005).

Uno de los componentes integrados más importantes dentro del set de chip que componen los módems XDSL en general lo constituyen los receptores y excitadores de línea (*Line Driver*), los cuales no son mas que amplificadores operacionales, que entre otras realizan las siguientes tareas:

- Amplificar la señal de datos.
- Regular la potencia manejada dentro de estos chips.
- Manejar el comportamiento eléctrico de la línea de transmisión mediante el rechazo a modo diferencial de las señales a modo común que introduce el par de cobre.

Por estas características el capítulo siguiente describe algunos aspectos específicos y muestra las condiciones de funcionamiento de estos componentes mediante curvas características, antes de concebir la simulación parcial de un módem SHDSL, con técnica de codificación TC-PAM 64 y analizar la situación de los módem más novedosos actualmente en el mercado.

CAPÍTULO 4: TERMINALES DE LÍNEA. SIMULACIÓN PARCIAL DE UN MODEM SHDSL.

Una vez estudiadas las técnicas de “unión” o “*bonding*”, uno de los factores fundamentales en el alto desempeño de los *módems* SHDSL, se hace necesario abordar otros dos aspectos no menos importantes, ellos son: los excitadores y receptores de línea y las nuevas propuestas de códigos de línea TCPAM-64. El primer aspecto, muchas veces poco tratado y al que se le suele conceder poca importancia, en verdad resulta decisivo a la hora de llevar a la práctica sistemas con códigos de línea con un número elevado de niveles, situación propicia para un mayor efecto de las interferencias. El conocimiento de las características de estos dispositivos permite evaluar el desempeño de los *módems* SHDSL. Es por esta razón que en este capítulo se abordará este aspecto.

Por otra parte, la evaluación del desempeño de la poderosa combinación PAM y TCM, dando lugar al novedoso código de línea TCPAM-64 resulta un aspecto valioso en el estudio de estos sistemas, aspecto que se logra materializar parcialmente en este trabajo al simularse, mediante Matlab/Simulink su parte transmisora. Por último se hace necesario en el capítulo analizar la realidad en el mercado de los *módems* que soportan esta novedosa técnica.

4.1 Excitadores y receptores de línea (*Line Driver*).

Independientemente de todas las ventajas que brinda SHDSL, esta tecnología presenta puntos débiles a nivel de *hardware*. Gracias a investigaciones realizadas, se sabe que la parte más sensible en los *módem* que utilizan esta tecnología es la AFE (*Analog Front End*, Interfaz de Línea). No obstante en el tendido de las líneas telefónicas de muchas ciudades se comenten disímiles faltas e irregularidades que han influido en estos resultados. En la interfaz de línea se realizan las funciones analógicas/digitales necesarias para la transmisión y recepción de SHDSL, como son: la conformación de la máscara Optis y la codificación de las señales.

La interfaz de línea (AFE) se ubica, haciendo referencia al modelo funcional del transreceptor SHDSL (**datasheet catalog, 2005**) descrito en el capítulo 2, en el bloque I/F. Este bloque que constituye la interfaz con el par de cobre contiene además:

- El excitador y receptor de línea (*Line Driver*).
- Resistencias adaptadoras de impedancias.
- Filtros digitales
- Convertidor analógico-digital y digital-analógico (A/D, D/A).

En la figura 4.1 se muestra el diagrama en bloque funcional de una Interfaz de línea de transmisión referente al set de chip M28975([datasheetcatalog, 2005](#)).

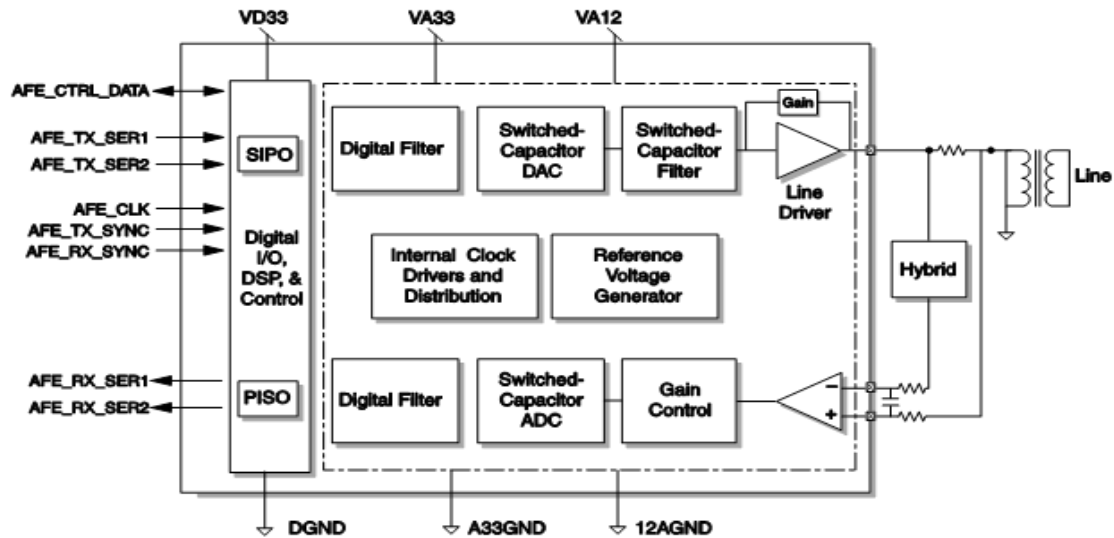


Figura 4.1: Interfaz de Línea de Transmisión DSL
Fuente:([datasheetcatalog, 2005](#)).

Todos los componentes se muestran dentro de un mismo bloque, para una mejor comprensión. En realidad, cada bloque constituye un circuito integrado independiente que se conecta con los demás y forman en su conjunto la AFE. El excitador de línea empleado en este *chipset* es el AD8018 que se fabrica en dos versiones: la compacta de 8 pines, que se muestra en la figura 4.2 a, y la extendida de 14 pines que se muestra en la figura 4.2 b. El AD8018 se emplea además en múltiples módemsxDSL ya que es compatible además con ADSL y VDSL.

Los amplificadores de alta velocidad que componen el excitador de línea, son capaces de conducir las señales de baja distorsión dentro de 0,5 V en la línea de alimentación. Cada uno puede manejar 400mA de corriente en 10 ohms a modo diferencial, manteniendo al mismo tiempo -82 dBc (razón expresada en decibeles relacionada con la ganancia o pérdida a un nivel de portadora en referencia) de banda SFDR (Rango

Dinámico Libre de Armónicos en ADC). Los bits PWDN1 y PWDN0 se utilizan para configurar el AD8018 en uno de sus tres estados posibles:

- Encendido.
- Espera (cuando las salidas están en baja impedancia).
- Cierre (cuando las salidas están en alta impedancia).

Larapidez de respuesta del AD8018 garantiza una mínima distorsión en la señal, mientras se disipa la menor cantidad de energía posible. Por demás este circuito opera en el rango de temperatura (-40°C a 85°C)[20].

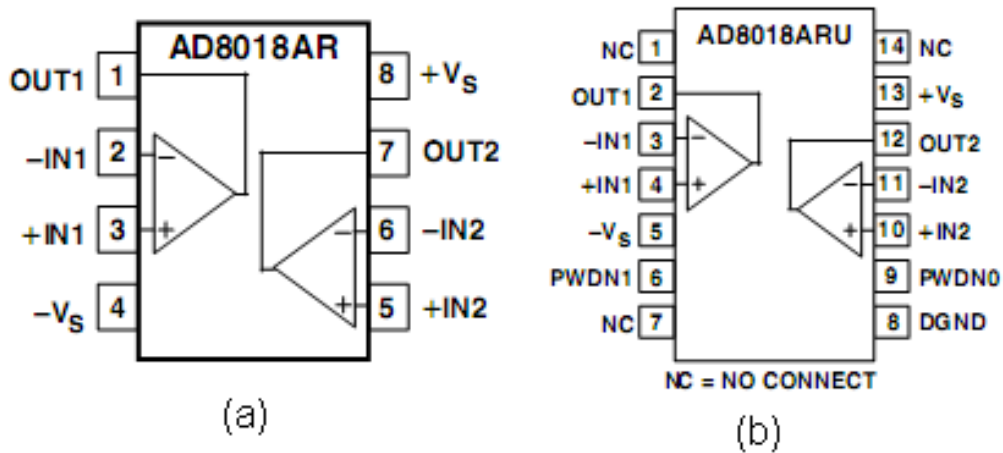


Figura 4.2: Excitador de línea AD8018 en sus dos versiones
Fuente: (Line-Driver-AD8018, 2005)

En la figura 4.3, se muestra el esquema eléctrico del AD8018 con una sola fuente de tensión diferencial.

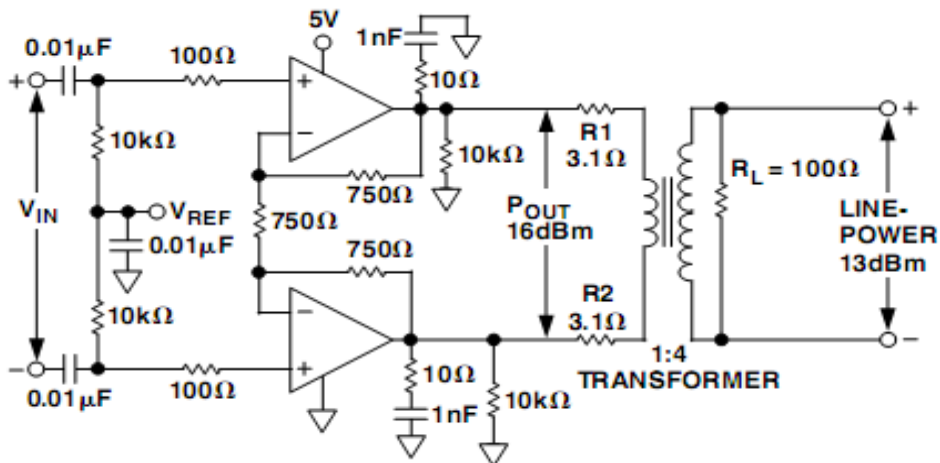


Figura 4.3: Esquema Circuitual del AD8018
Fuente: (Line-Driver-AD8018, 2005)

Características eléctricas del AD8018

Voltaje de Alimentación.....	8V
Disipación de Energía Interna*	
Versión Compacta (R).....	650mW
Versión Extendida (RU).....	565mW
Voltaje de Entrada.....	+Vs
Voltaje Lógico (PVDN0, 1).....	+Vs
Tensión de Entrada Diferencial.....	+1.6V
Rango de Temperatura Operativo.....	-40°C a 85°C
Rango de Temperatura de Almacenamiento.....	-65°C a 150°C
CMRR (Razón de Rechazo a Modo Común).....	120dB – 130dB

*Valores por encima de los expuestos por el fabricante pueden causar daños permanentes al dispositivo.

Disipación máxima de energía

La potencia máxima que puede ser disipada por el excitador de línea AD8018 está limitada por el aumento asociado en la temperatura de la unión (*Junction Temperature*) un ejemplo ilustrativo se muestra en la figura 4.4. La temperatura de unión máxima segura para el encapsulado plástico del AD8018 depende de la temperatura de transición vítrea del plástico, que es aproximadamente de 150 °C. Un exceso de este límite puede causar un cambio en el rendimiento paramétrico debido a un cambio en los esfuerzos ejercidos por el paquete. Un valor de temperatura de la unión de 175 °C durante un período prolongado puede dar como resultado un fallo absoluto en el dispositivo. Aunque el AD8018 es internamente protegido contra cortocircuitos, esto puede no ser suficiente para garantizar que la máxima temperatura de la unión (150 °C) no se exceda bajo cualquier condición. A fin de garantizar un correcto funcionamiento, es necesario observar la potencia máxima de disipación de energía contra el aumento de temperatura en las curvas de rendimiento. La figura 4.4 muestra la relación Energía vs Temperatura.

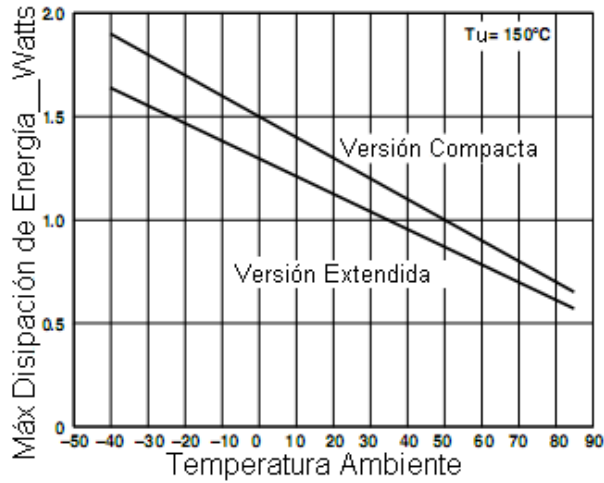


Figura4.4: Gráfico de Máxima Disipación de Energía vs Temperatura
Fuente: (Line-Driver-AD8018, 2005)

4.2 Curvas características de rendimiento.

A continuación se presentan las siguientes curvas características de rendimiento de este dispositivo:

Figura 4.5: Impedancia de Salida vs Frecuencia

Figura 4.6: Circuito de Prueba a modo diferencial

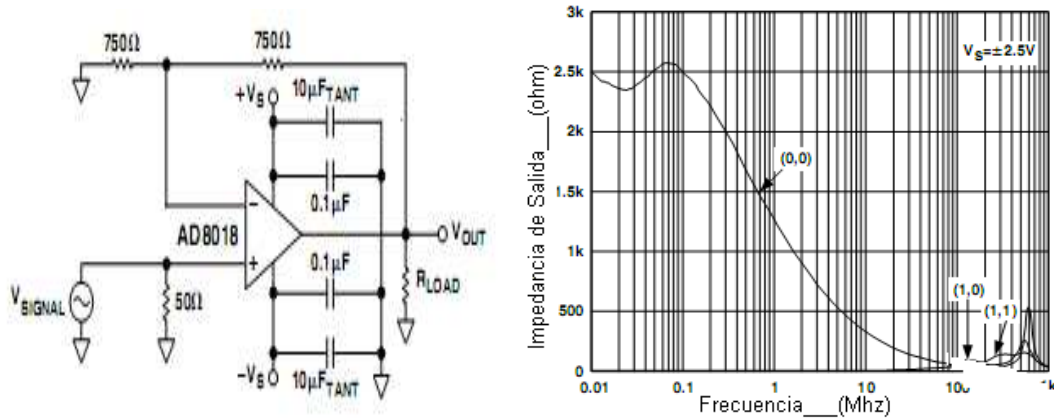


Figura 4.5: Impedancia de Salida vs Frecuencia
Fuente: (Line-Driver-AD8018, 2005)

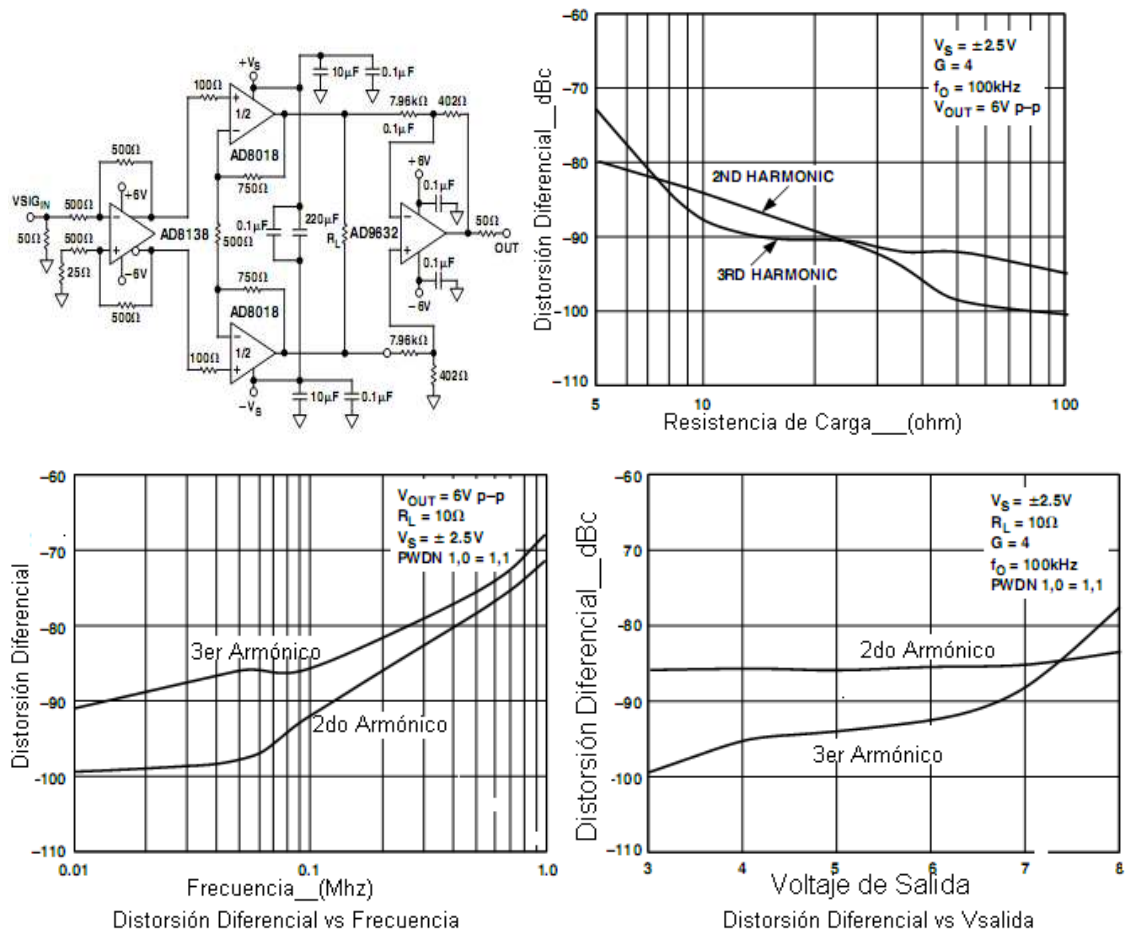


Figura 4.6: Circuito dePrueba a modo diferencial
Fuente:(Line-Driver-AD8018, 2005)

Modo de operación

El AD8018 está compuesto por dos amplificadores realimentados capaces de entregar 400mA de corriente a la salida, mientras conduce las señales dentro de 0,5V en la línea de alimentación. Al mismo tiempo estos amplificadores aseguran una baja distorsión en la señal que entregan a la línea telefónica. El excitador de líneaAD8018puedeproporcionar el rendimiento del CPE (*CustomerPremisesEquipment*, Equipo en las Instalaciones del Cliente) con una alimentación de 5V. Este comportamiento está habilitado por el proceso de dispositivos analógicos de XFCB y una novedad;dos etapasde la arquitectura realimentadas con una fase de la señal extremo a extremo.

La figura 4.7 muestra un modelo de referencia del AD8018. El seguidor de emisor de búfer en la entrada positiva (V_p), garantiza que el nivel de corriente y ruido en esta entrada sea de poca intensidad. La corriente de realimentación con baja impedancia, llega a la

entrada negativa (V_N). La etapa de salida está formada por otro amplificador de alta ganancia utilizado como un integrador para compensar la frecuencia. La salida complementaria del emisor común proporcional a la oscilación de salida extendida. El comportamiento dinámico y la distorsión del amplificador realimentado son relativamente insensibles a la ganancia de la señal a circuito cerrado, que es una clara ventaja sobre una arquitectura de tensión realimentada (Line-Driver-AD8018, 2005).

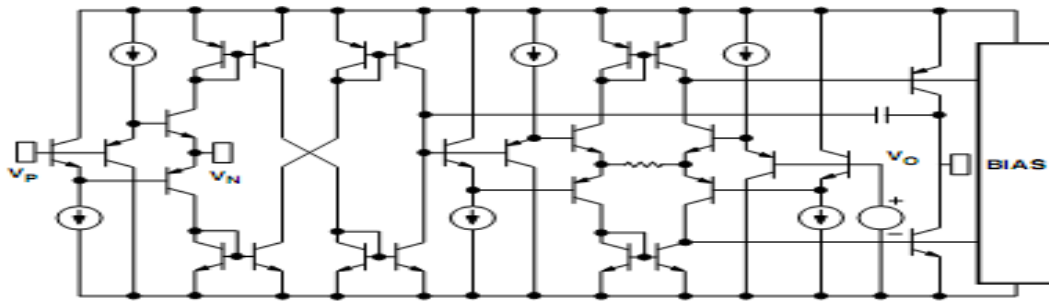


Figura 4.7: Esquema Simplificado
Fuente: (Line-Driver-AD8018, 2005)

La figura 4.8 muestra el esquema de uno de los amplificadores que compone el AD8018, y específicamente la descripción eléctrica de los valores de voltaje y tensión que se manejan tanto en uno como en el otro amplificador. La resistencia de entrada (R_{ent}) es inversamente proporcional a la transconductancia (g_{mi}) de la etapa de entrada del amplificador y tiene un valor aproximado de 125Ω . Del análisis del circuito eléctrico de este amplificador se obtienen las ecuaciones siguientes:

$$\frac{V_{sal}}{V_{ent}} = G \times \frac{T_Z(s)}{T_Z(s) + R_R + G \times R_{ent}} \quad (4_1)$$

Dónde:

$$G = 1 + \frac{R_R}{R_G} \quad (4_2)$$

$$T_Z(s) = \frac{R_T}{1 + sC_T(R_T)} \quad (4_3)$$

$$R_{ent} = \frac{1}{g_{mi}} \approx 125 \Omega \quad (4_4)$$

Este amplificador cumple que $G \times R_{ent} < R_R$ (resistencia de realimentación), y además el punto de $-3dB$ se establece cuando $T_Z(s) = R_R$. Por lo que se puede deducir que el AB

del amplificador depende principalmente de la resistencia de realimentación. Existe un valor de R_R por debajo del cual el amplificador será inestable, ello provoca la aparición de polos adicionales que provocan cambios de fase en el mismo. El valor óptimo de R_R depende de la ganancia y de alcanzar un máximo tolerable en la aplicación (Line-Driver-AD8018, 2005).

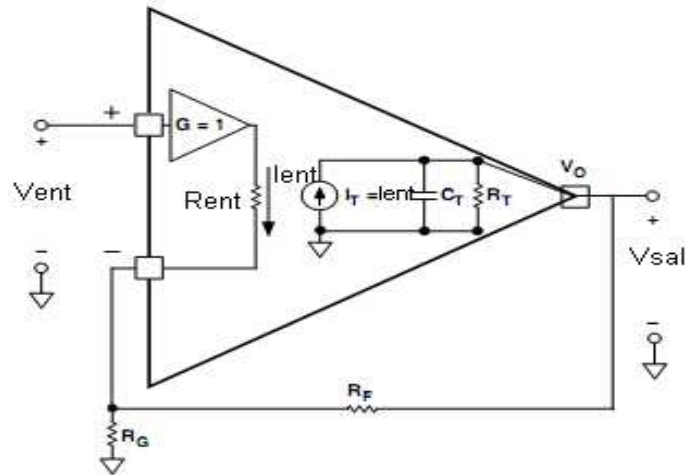


Figura 4.8: Modelo simplificado del amplificador retroalimentado
Fuente: (Line-Driver-AD8018, 2005)

La tabla 4.1 muestra valores de resistencias de realimentación recomendados con su correspondiente valor de ganancia.

Tabla 4.1 Guía de selección de R_R

Ganancia	R_R (Ω)	R_g (Ω)
-1	681	681
+1	1K	∞
+2	750	750
+3	511	256
+4	340	113
+5	230	59

Fuente: (Line-Driver-AD8018, 2005)

El AD8022 es el receptor de línea recomendado para el AD8018, de acuerdo a la hoja de datos (Line-Driver-AD8018, 2005). El AD8022 está compuesto en correspondencia con el AD8018 por dos amplificadores realimentados con una fuente de corriente de 4mA. En la figura 4.9 se muestra el bloque funcional y el esquema eléctrico del receptor de línea AD8022.

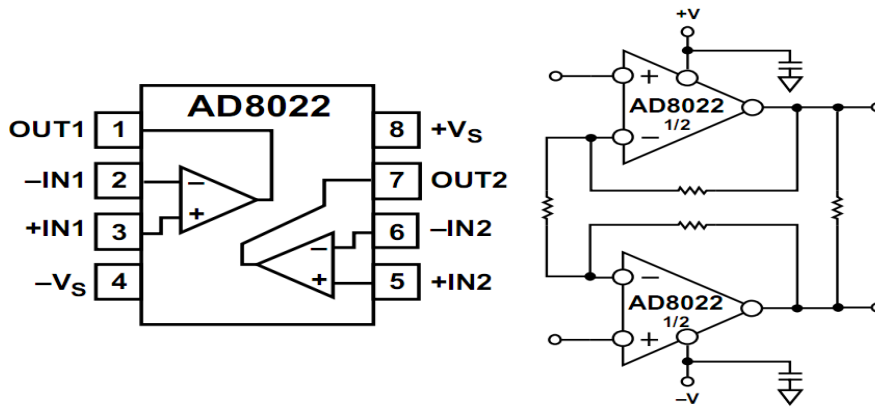


Figura4.9:Receptor de línea AD8022
Fuente:(Line-Driver-AD8018, 2005)

Principales Características.

Voltaje de alimentación (pico a pico).....	26.4 V
Disipación de energía interna.....	1.6 W
Voltaje de entrada a modo diferencial.....	±0.8 V
Rango de temperatura de almacenamiento.....	-65°C a +125°C
Rango de temperatura en que opera.....	-40°C a +85°C
CMRR (Razón de rechazo a modo común).....	130 dB

Es importante que el excitador de línea asegure la regulación de potencia que se maneja dentro del módem y que además mantenga de manera estable el comportamiento eléctrico de la línea de transmisión. Para el caso de la técnica de codificación propuesta en este capítulo TCPAM-64, a la hora de transmitir el dato, los 64 símbolos deben transmitirse en un pico de -1 a 1v aproximadamente.

En caso de que excitador y receptor de línea no garanticen un comportamiento eléctrico estable el resultado inmediato sería la presencia de bits erróneos. Por tanto, es importante reducir al mínimo el ruido añadido por la línea para garantizar una relación señal a ruido (SNR) aceptable. La figura 4.10 muestra el comportamiento en el AD8022 de la relación señal a ruido SNR contra el máximo número de bits por tono de una secuencia binaria pseudoaleatoria transmitida. La tasa de errores en los bits (BER) del sistema debe ser inferior a 10^{-7} (G-991-2, 2003).

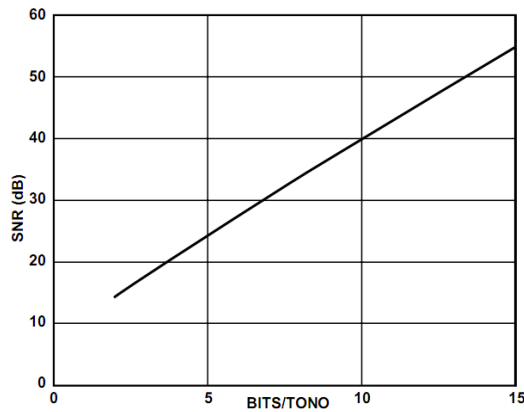


Figura4.10:Comportamiento de la SNR en el AD8022
Fuente:(Line-Driver-AD8018, 2005)

Como se mencionó en la introducción del capítulo, en general, la función más importante de ambos dispositivos receptor y excitador de línea es la de rechazar las señales a modo común que introduce la línea telefónica, producto a sus características inherentes. En la figura 4.11 se muestra un esquema eléctrico general que muestra la disposición entre excitador (AD8018) y receptor de línea (AD8022).

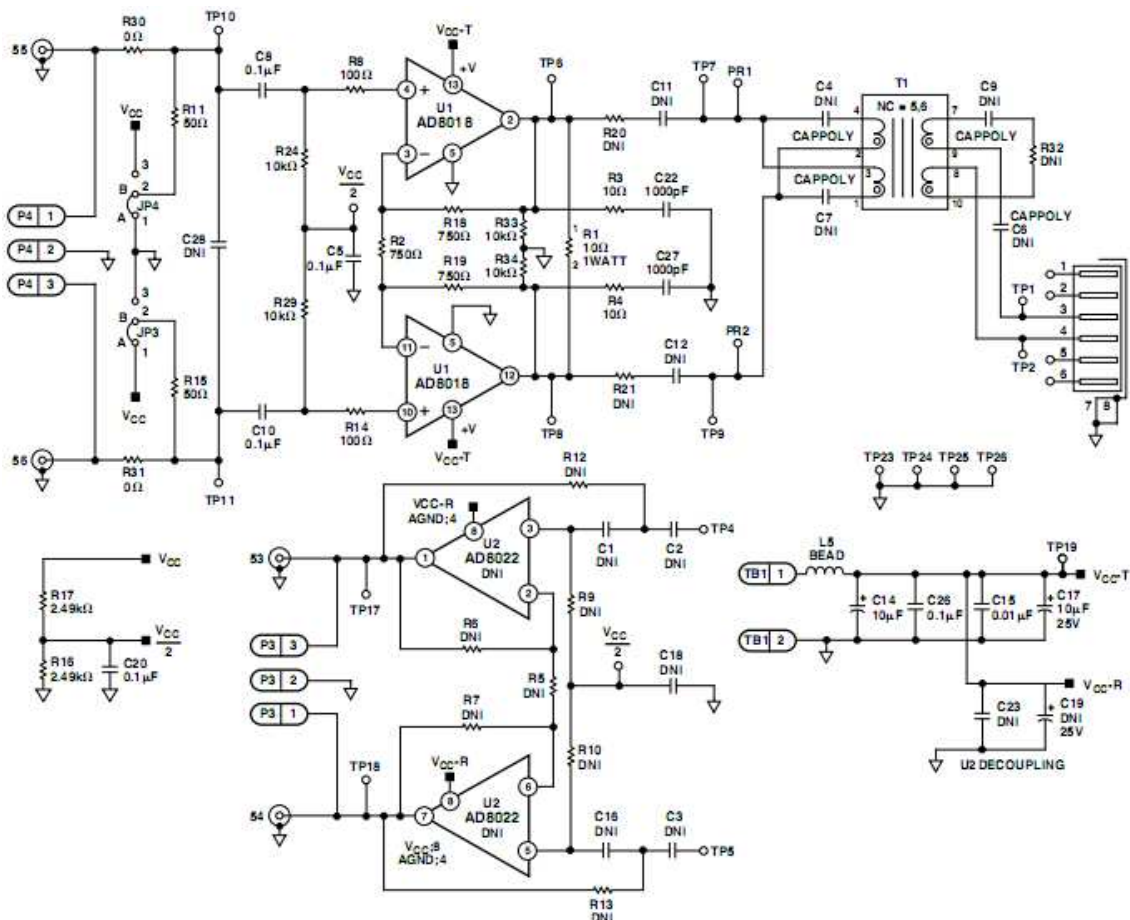


Figura4.11:Disposición entre excitador de línea (AD8018) y receptor de línea (AD8022)
Fuente:(Line-Driver-AD8018, 2005)

Hasta este punto del trabajo se ha cumplido un objetivo importante, que consistía en analizar la problemática y las funciones de dispositivos de suma importancia dentro de los módems SHDSL y xDSL en general como son los excitadores de línea. Como se ha mencionado en el trabajo es indispensable el correcto funcionamiento de estos dispositivos a la hora de llevar a la práctica sistemas con códigos de línea con un número elevado de niveles, como el que se concibe en el presente trabajo. Por lo que el conocimiento de las características de estos dispositivos permite evaluar el desempeño de los módems SHDSL.

El principal logro de la tecnología SHDSL consiste en la implementación de la novedosa técnica de codificación TCPAM por lo que resulta necesario evaluar el desempeño de esta técnica no solo en ambiente de simulación sino también en cuanto a sus fundamentos teóricos.

4.3 Características de la Modulación de Amplitud de Pulso (PAM).

En la transmisión digital de datos existen varios métodos para lograr transferir datos de forma digital por el medio que se desea, uno de ellos es PAM (*Pulse Amplitude Modulation*, Modulación por Amplitud de Pulsos). La modulación PAM describe la conversión de señales analógicas en señales de pulsos digitales donde la amplitud del impulso indica la información. Esta información es transmitida en símbolos de valores discretos, uniformemente espaciados por intervalos de tiempo (Starr, Sorbara, Cioffi, & Silverman, 2002).

El objetivo de la señalización PAM es proporcionar otra forma de onda con apariencia de pulsos, y que aun así contenga la información que estaba presente en la forma de onda analógica. La figura 4.12 muestra una representación de este tipo de modulación.

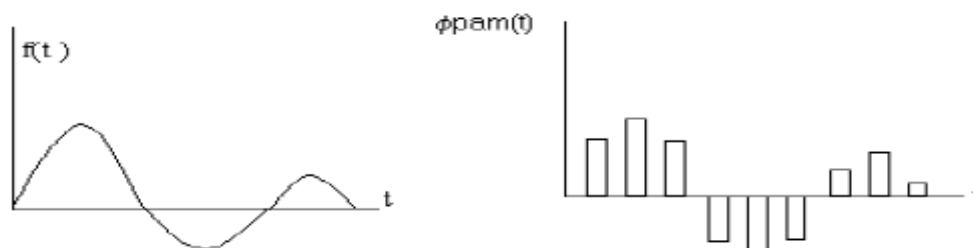


Figura 4.12: Modulación PAM
Fuente: (Starr, Sorbara, Cioffi, & Silverman, 2002)

El conjunto de señales PAM-M viene dado por:

$$\mathbf{S}_m(\mathbf{t}) = \mathbf{A}_m \mathbf{S}(\mathbf{t}) = \mathbf{A}_m \sum_{-\infty}^{\infty} a_{qn} P(\mathbf{t} - nT) \quad (4_5)$$

Dónde:

$m = 1, 2, \dots, M$ en el intervalo $0 \leq t \leq T$

$S_m(t) > 0$ para todo valor de n

El número de estados M de la señal PAM depende de la cantidad de dígitos binarios que se agrupan para la codificación. Según el análisis desde el punto de vista geométrico, la señal PAM es unidimensional, o sea todos sus estados se distribuyen a lo largo de un mismo eje cartesiano y cada uno de ellos tiene un contenido energético diferente.

Se utiliza la codificación unidimensional por el rápido tiempo de recuperación que ofrece a la vez que brinda un desempeño cercano a la codificación multidimensional. Se considera que, a medida que se incrementa la valencia de la señal PAM (el número de estados M), el contenido energético de la señal se incrementa (Starr, Sorbara, Cioffi, & Silverman, 2002). Debido a que la tecnología SHDSL se transmite en banda base, la eficiencia espectral de PAM-M también se expresa mediante la fórmula:

$$\frac{R}{W} = 2 \log_2 M \frac{\text{bits}}{s} / \text{Hz} \quad (4_6)$$

La señal PAM es una codificación eficiente, a partir de esta ecuación se puede inferir que PAM-64 incrementa la eficiencia espectral 3 veces respecto a 2B1Q, 1.5 veces respecto a PAM-16 y 1.2 veces respecto a PAM-32. Esta ventaja es una de las principales causas por la que se propone a PAM-64 como nueva codificación para SHDSL. La otra causa por la que se escoge PAM-64 es precisamente porque aumenta el número de bits en cada símbolo transmitido, ahora en vez de 16 niveles de voltaje para la transmisión con que cuenta normalmente SHDSL (4 bits por símbolo), e incluso los 5 bits por símbolo transmitidos en PAM-32, PAM-64 es capaz de acomodar en cada símbolo 6 bits, con lo que se logra un incremento en la velocidad de transmisión de la información (Starr, Sorbara, Cioffi, & Silverman, 2002). La probabilidad de error promedio por símbolo viene dada por:

$$P_m = \frac{M-1}{M} \operatorname{erfc} \left[\sqrt{\frac{3}{M^2-1}} \gamma_{PROM} \right] \quad (4_7)$$

Con:

$$\gamma_{PROM} = \frac{\alpha^2 P_{PROM} T}{N_0} \quad (4_8)$$

La figura 4.13 muestra el ploteo de varias PSDs SHDSL para distintas tasas de transferencia de datos: 256, 384, 512, 768, and 1152 Kbps. Aquí no se incluye el ruido que normalmente afecta a la señal y que por demás se toma en cuenta en la ecuación nominal de la PSD (Starr, Sorbara, Cioffi, & Silverman, 2002).

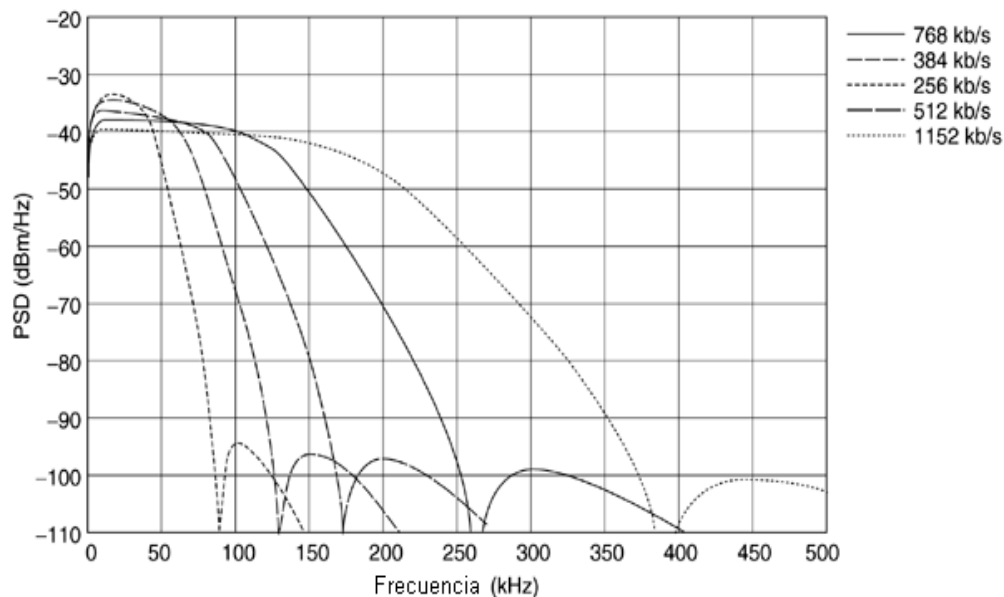


Figura 4.13: PSD PAM nominal para varias tasas de transferencias de datos sin ruido.

Fuente: (Starr, Sorbara, Cioffi, & Silverman, 2002)

Ahora en la figura 4.14 se muestra la misma densidad espectral de potencia de SHDSL para las tasas de transferencia: 256, 512, 768, 1536, 2048 y 2304 Kbps, pero afectadas por el ruido.

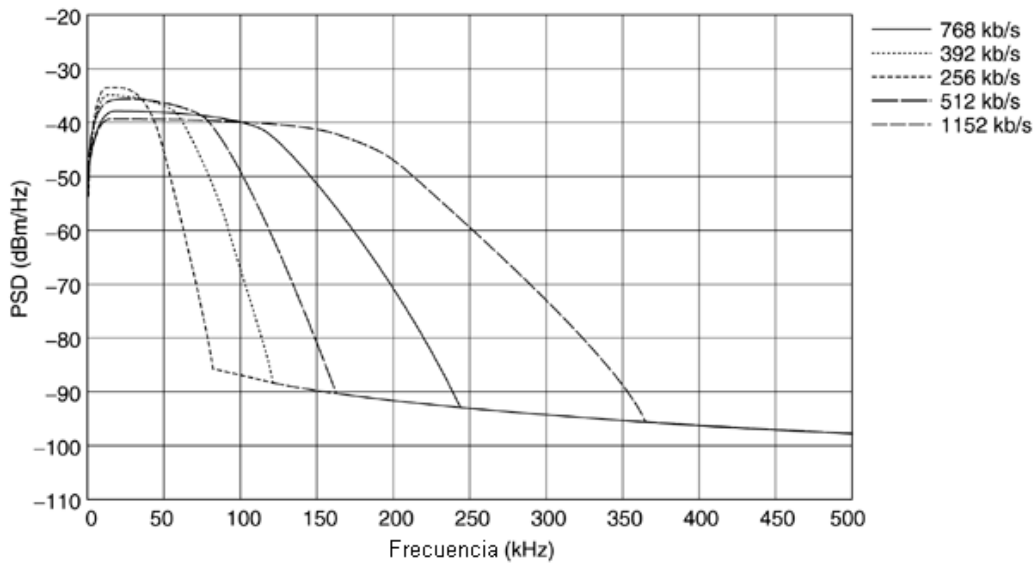


Figura 4.14: PSD PAM para varias tasas de transferencias de datos con ruido.

Fuente: (Starr, Sorbara, Cioffi, & Silverman, 2002)

4.3.1 Código de línea PAM-64 para la implementación de SHDSL.

El desarrollo de la técnica SHDSL conjuntamente con las ventajas que brinda (mejor compatibilidad espectral, codificación de línea mejorada, mejor interoperabilidad, etc.) posibilitó que se pudieran aprovechar mejor los recursos del par de cobre para la transmisión digital a alta velocidad. Cualquiera de las dos variantes, ya sea mantener la velocidad de acceso pero sobre un solo par de cobre, con el consecuente aporte económico, o, transmitir sobre 2 o hasta 4 pares para incrementar dicha velocidad de acceso, fueron muy bien vistas por parte de proveedores y usuarios.

Sin embargo, la competencia ejercida por parte de los proveedores de servicios en el lazo local de abonado demanda un continuo desarrollo de esta técnica para seguir imponiéndose en el mercado, no solo frente a las técnicas de acceso simétricas sino frente a otras de gran demanda también como son ADSL y VDSL.

La señal SHDSL emplea la modulación TCPAM sobre una única portadora y de acuerdo con la Recomendación G.991.2, la máxima velocidad de datos de usuario (cabida útil) disponible con 16 niveles (3 bits por símbolo) es de hasta 2312 Kbps en cada sentido.

La misma Recomendación G.991.2, que en su anexo F especifica los requisitos para la región 1 (América) define un conjunto de ampliaciones que permiten aumentar la velocidad de datos de usuario hasta los 5696 Kbps, bien sea aumentando la banda de frecuencias por encima de los 300-400 KHz utilizados en su modalidad básica, o bien mejorando la eficiencia de la modulación transmitiendo 4 bits por símbolo (TCPAM-32).

Si bien la modulación TC PAM-32 es un logro sustancial para la técnica de acceso SHDSL, la modulación TCPAM-64 duplica el número de niveles o estados de la señal respecto a PAM-32. Con ello se aumenta el número de bits de información que se transmite en cada símbolo. Por tanto es posible, o bien mantener el ancho de banda e incrementar la velocidad de señalización o, manteniendo la misma velocidad de señalización, poder disminuir el ancho de banda necesario para la transmisión de la señal SHDSL.

La primera opción podría ser, la más eficiente. Hay que tener en cuenta que en las técnicas de acceso xDSL existe una relación inversamente proporcional entre la tasa de transferencia y el alcance máximo efectivo de la señal. A mayor tasa de transferencia menor será el alcance de la señal (lazos cortos). Además, el incremento de los niveles y de los bits de información no debe realizarse de manera arbitraria ya que a medida que aumentan estos la codificación y decodificación aumenta en complejidad y con ello el costo del equipamiento (Trend-Communications).

La aparición y disponibilidad de equipos que operan con modulaciones mucho más eficientes tipo TCPAM-64, permite aumentar la tasa de transferencia de datos de usuario disponible en la señal SHDSL básica basada en TCPAM-16 en factores de 5/3 (8.5 Mbps) para una misma velocidad de símbolos, y manteniendo la misma Densidad Espectral de Potencia (PSD).

En sus alegaciones Telefónica señala que dichas modulaciones no se contemplan actualmente en ninguna de las normativas en las que se define la señal SHDSL, por lo que no pueden considerarse como señales estandarizadas y deben considerarse propietarias del suministrador de equipos de esta tecnología.

Aunque el resto de las características de la señal descrita por Colt (TC PAM 64) pueda ser equivalente a la señal SHDSL estandarizada, puesto que en la actualidad esta modulación propuestano se recoge en los documentos que definen el estándar, dicha señal debe considerarse como propietaria. Telefónica indica en su primer escrito de alegaciones que una señal propietaria es aquélla que sin estar definida por un estándar resulta, por sus características, compatible con el resto de señales de la planta de abonado.

Luego “Un plan de gestión y las reglas asociadas deben ser transparentes, de forma que estén basados en principios objetivos (ya sean consideraciones teóricas, simulaciones o pruebas experimentales) conocidos por todos los operadores”. Para estas señales propietarias se crea un apartado específico en el PGE (Plan de Gestión del Espectro) en el cual se definen las reglas de despliegue específicas (DT-2009/379).

Colt indica que si bien la nueva modulación TCPAM-64 no está recogida en el estándar, no es menos cierto que se trata de una extensión del G.991.2 de la UIT similar a la extensión que supuso la introducción de la modulación TCPAM-32. En concreto, las funciones de aleatorización, precodificación y conformado espectral definidas para la capa PMD son las mismas definidas en el estándar, modificando únicamente el codificador TC-PAM con la ampliación del parámetro K para permitir constelaciones de 5 bits de longitud. Luego las normas de funcionamiento de TCPAM-64 son (DT-2009/379):

- Pérdidas de retorno: Según ITU-T G.991.2.
- Máscara en el dominio del tiempo para los pulsos: Según ITU-T G.991.2.
- Amplitud de pico de la señal: Según ITU-T G.991.2.
- Máscara densidad espectral de potencia (PSD): Gráficas en escrito de solicitud.
- Potencia media máxima de emisión permitida: Según ITU-T G.991.2.
- Tensión de salida longitudinal: Según ITU-T G.991.2.
- Cumplimiento de pruebas de ruido sobre los bucles especificados, si existen: Según Colt, tanto las pruebas realizadas en los laboratorios del proveedor de equipos como las pruebas realizadas en Dinamarca confirman que los valores de ruido inducido sobre otras señales son similares a los obtenidos con anterioridad

para la señal de 5,7 Mbps con modulación TC-PAM32 para lo que adjunta un informe de las pruebas.

- Máxima corriente y tensión de telealimentación: Según ITU-T G.991.2, salvo para telealimentación que no aplica por no existir repetidores.
- Protección contra sobretensiones: Según ITU-T G.991.2.

4.4 Propuesta de aplicación de PAM-64 para SHDSL.

Para la nueva propuesta de codificación, se agrupan 6 dígitos binarios en lugar de 5 (TC PAM-32), para formar cada símbolo, al cual le corresponde un determinado nivel de voltaje en el codificador y en el decodificador respectivamente. SHDSL propone para la codificación de línea PAM-64 la distribución de datos binarios por símbolo que se muestra en la tabla 4.2. "A" representa la salida menos significativa del convertidor Serie-Paralelo y "F" la salida más significativa. Los niveles de la señal de salida del codificador PAM-64, o valores de los símbolos como se especifica en la Tabla 4.2, están normalizados, o sea, son fracciones del valor 1.

Tabla 4.2 Asignación de los niveles PAM-64 según cada palabra de datos binarios.

No	Niveles de la señal de salida del Codificador PAM-64	Nivel de Detección	Nivel X(m) FEDCBA
0	-63/64(-0.984v)	-31/32(-0.968v)	000000
1	-61/64(-0.953v)	-30/32(-0.937v)	000001
2	-59/64(-0.921v)	-29/32(-0.906v)	000010
3	-57/64(-0.89v)	-28/32(-0.875v)	000011
4	-55/64(-0.859v)	-27/32(-0.843v)	000100
5	-53/64(-0.828v)	-26/32(-0.812v)	000101
6	-51/64(-0.796v)	-25/32(-0.781v)	000110
7	-49/64(-0.765v)	-24/32(-0.75v)	000111
8	-47/64(-0.734v)	-23/32(-0.718v)	001000
9	-45/64(-0.703v)	-22/32(-0.687v)	001001
10	-43/64(-0.671v)	-21/32(-0.656v)	001010
11	-41/64(-0.64v)	-20/32(-0.625v)	001011
12	-39/64(-0.609v)	-19/32(-0.593v)	001100
13	-37/64(-0.578v)	-18/32(-0.562v)	001101
14	-35/64(-0.546v)	-17/32(-0.531v)	001110
15	-33/64(-0.515v)	-16/32(-0.5v)	001111
16	-31/64(-0.484v)	-15/32(-0.468v)	010000

17	-29/64(-0.453v)	-14/32(-0.437v)	010001
18	-27/64(-0.421v)	-13/32(-0.406v)	010010
19	-25/64(-0.39v)	-12/32(-0.375v)	010011
20	-23/64(-0.359v)	-11/32(-0.343v)	010100
21	-21/64(-0.328v)	-10/32(-0.312v)	010101
22	-19/64(-0.296v)	-9/32(-0.281v)	010110
23	-17/64(-0.265v)	-8/32(-0.25v)	010111
24	-15/64(-0.234v)	-7/32(-0.218v)	011000
25	-13/64(-0.203v)	-6/32(-0.187v)	011001
26	-11/64(-0.171v)	-5/32(-0.156)	011010
27	-9/64(-0.14v)	-4/32(-0.125v)	011011
28	-7/64(-0.109v)	-3/32(-0.093v)	011100
29	-5/64(-0.078v)	-2/32(-0.062v)	011101
30	-3/64(-0.046v)	-1/32(-0.031v)	011110
31	-1/64(-0.015v)	0	011111
32	1/64(0.015v)	0	100000
33	3/64(0.046v)	1/32(0.031v)	100001
34	5/64(0.078)	2/32(0.062v)	100010
35	7/64(0.109v)	3/32(0.093v)	100011
36	9/64(0.14v)	4/32(0.125v)	100100
37	11/64(0.171v)	5/32(0.156v)	100101
38	13/64(0.203v)	6/32(0.187v)	100110
39	15/64(0.234v)	7/32(0.218v)	100111
40	17/64(0.265v)	8/32(0.25v)	101000
41	19/64(0.296v)	9/32(0.281v)	101001
42	21/64(0.328v)	10/32(0.312v)	101010
43	23/64(0.359v)	11/32(0.343v)	101011
44	25/64(0.39v)	12/32(0.375v)	101100
45	27/64(0.421v)	13/32(0.406v)	101101
46	29/64(0.453v)	14/32(0.437v)	101110
47	31/64(0.484v)	15/32(0.468v)	101111
48	33/64(0.515v)	16/32(0.5v)	110000
49	35/64(0.546v)	17/32(0.531v)	110001
50	37/64(0.578v)	18/32(0.562v)	110010
51	39/64(0.609v)	19/32(0.593v)	110011

52	41/64(0.64v)	20/32(0.625v)	110100
53	43/64(0.671v)	21/32(0.656v)	110101
54	45/64(0.703v)	22/32(0.678v)	110110
55	47/64(0.734v)	23/32(0.718v)	110111
56	49/64(0.765v)	24/32(0.75v)	111000
57	51/64(0.796v)	25/32(0.781v)	111001
58	53/64(0.828v)	26/32(0.812v)	111010
59	55/64(0.859v)	27/32(0.843v)	111011
60	57/64(0.89v)	28/32(0.875v)	111100
61	59/64(0.921v)	29/32(0.906v)	111101
62	61/64(0.953v)	30/32(0.937v)	111110
63	63/64(0.984v)	31/32(0.968v)	111111

Fuente:(G-991-2, 2003).

Cada símbolo cuenta con un umbral $\Delta V1 = 62 \text{ mV}$ (T1–T1-418, 2000). Este ofrece una inmunidad aceptable frente al ruido y a las interferencias. No obstante, suponiendo que un error en SHDSL es causado por un nivel de voltaje de ruido equivalente a:

$$e(\text{SHDSL}) = V_n$$

El error mínimo entre dos símbolos adyacentes se producirá si y solo si se cumple que:

$$V_n \geq \Delta V \text{ y a la vez } V_n \leq 2 \Delta V$$

Esta condición es fundamentalmente para símbolos intermedios, donde puede que un nivel de ruido reafirme aun más el valor del símbolo de voltaje más alto o más bajo. De esta forma, como el voltaje de umbral para PAM-64 disminuyó a la mitad respecto a PAM-16 ($\Delta V1 = 124 \text{ mV}$), la probabilidad de ser afectado por el ruido son mayores para la primera.

Esta propuesta emplea por supuesto codificación convolucional, indispensable para agregar al flujo de datos que será codificado, bits de redundancia que protegen la verdadera información de la influencia del ruido y las interferencias. Luego los bits que aparecen en las columnas A y B de laTabla4.2 son el resultado de la codificación convolucional del flujo menos significativo de la salida del registro Serie–Paralelo. En este caso, la nueva señal SHDSL transportaría en cada uno de sus 64 símbolos cinco

bits de información y uno de redundancia o protección contra los errores (6 bits en total). Con este método de codificación se incrementa la tasa de transmisión de información, sin alterar el ancho de banda.

Como se mencionó, la Tabla 4.2 también contiene los umbrales de decisión de cada uno de los símbolos para el receptor. Estos umbrales serán utilizados para el diseño del decodificador de señales PAM-64 que se implementó en el Matlab/Simulink para detectar los símbolos y recuperar los datos de la señal codificada.

4.5 Simulación de un Transmisor SHDSL con modulación PAM-64.

Para el desarrollo de la simulación parcial del módem SHDSL con PAM-64, se utilizó en este trabajo la herramienta Simulink del software profesional Matlab. Simulink es una herramienta de diseño de alto rendimiento que simula un ambiente interactivo utilizado en el modelado, simulación y análisis de sistemas dinámicos (**User's Guide. MATLAB-SIMULINK**). Simulink posee bastas librerías que contienen conjuntos de bloques diseñados para aplicaciones específicas, tales como la simulación de sistemas de comunicaciones y el procesamiento digital de señales. Este último es implementado en el presente trabajo. Simulink brinda además la posibilidad de recrear un ambiente de laboratorio, que permite el uso de diversos instrumentos para la visualización de los resultados obtenidos en las simulaciones.

El esquema del transmisor SHDSL a simular en este trabajo se centra fundamentalmente en el bloque dependiente del medio físico (PMD) que es la parte invariante dentro del módem donde se realizan las funciones de codificación y decodificación, modulación y demodulación y demás funciones que se mencionaron anteriormente (**G-991-2, 2003**).

Las ventajas y novedades que introduce TC PAM-64 con respecto a TC PAM-16/32 independientemente de las mejoras en los procedimientos de cancelación de eco y ecualización adaptativa mejorada están fundamentalmente en el aumento de la tasa de transferencia (8,5 y 11,4 Mbps sobre un solo par de cobre a 17 y 22,8 Mbps sobre dos pares de cobre)(DT-2009/379).

4.5.1 Transmisor HDSL con PAM-64.

Para la propuesta de simulación del transmisor SHDSL, el esquema implementado tiene la configuración mostrada en la Figura4.15.

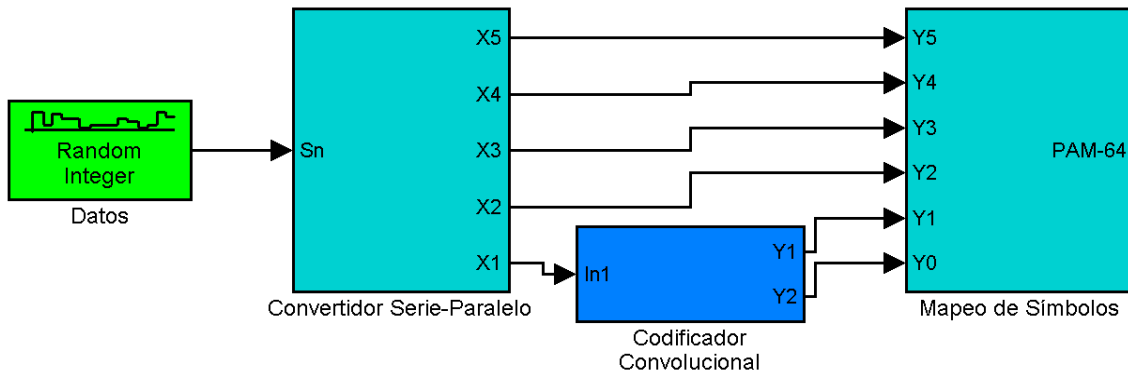


Figura4.15: Esquema del PMD SHDSL con PAM-64
Elaborado por: Autor

4.5.2 Registro Serie – Paralelo

El primer bloque del transmisor simula la fuente binaria (User's Guide. MATLAB-SIMULINK) de datos que serán codificados o sea, constituye en este caso, el flujo de información que será transmitido. Este bloque y la configuración que se aplicó se muestran en la figura 4.16.

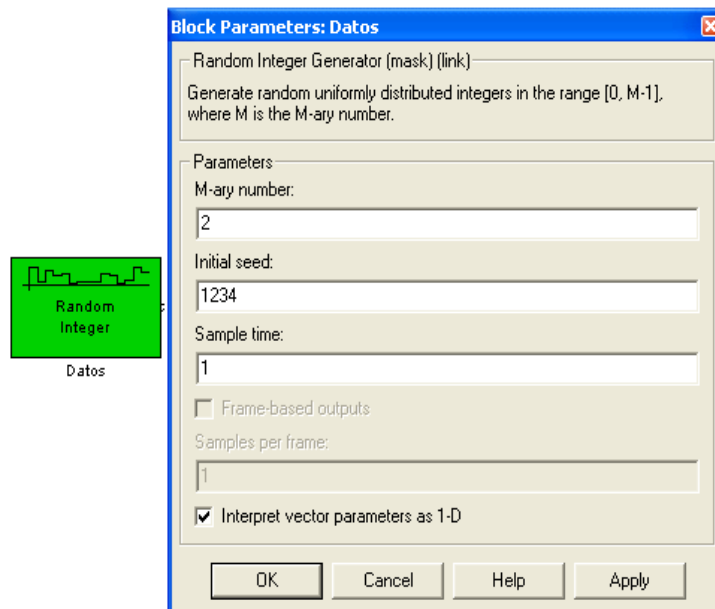


Figura4.16: Configuración de la fuente binaria
Elaborado por: Autor

La secuencia de datos que genera esta fuente, sin ser modificada por las técnicas de codificación propuestas, es la señal unipolar NRZ que se muestra en la figura 4.17.

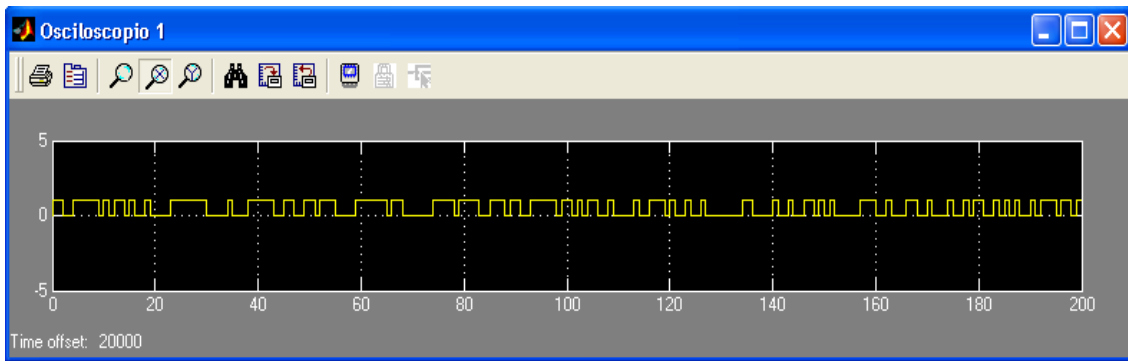


Figura4.17: Datos generados por la fuente binaria.
Elaborado por: Autor

El segundo bloque es el convertidor Serie-Paralelo. Este bloque se encarga de transformar el flujo de bits serie provenientes de la fuente binaria en una palabra de 5 bits en paralelo (en el intervalo de tiempo del m -ésimo símbolo). Como la nueva codificación aumenta el número de estados para la señal, se obtienen a partir de la conversión Serie-Paralelo cinco flujos de datos a una velocidad de señalización cinco veces inferior a la de la fuente binaria.

Los bloques de demora hacen de registro serie a medida que los dígitos binarios transcurren a través de ellos. Cuando han transcurrido cinco períodos de la fuente, los circuitos de muestreo y retención o “*Sample&Hold*” muestrean y retienen el dígito durante los próximos cinco períodos del reloj de la fuente binaria. En la figura 4.18 se muestra la configuración interna del convertidor serie-paralelo implementado en el trabajo.

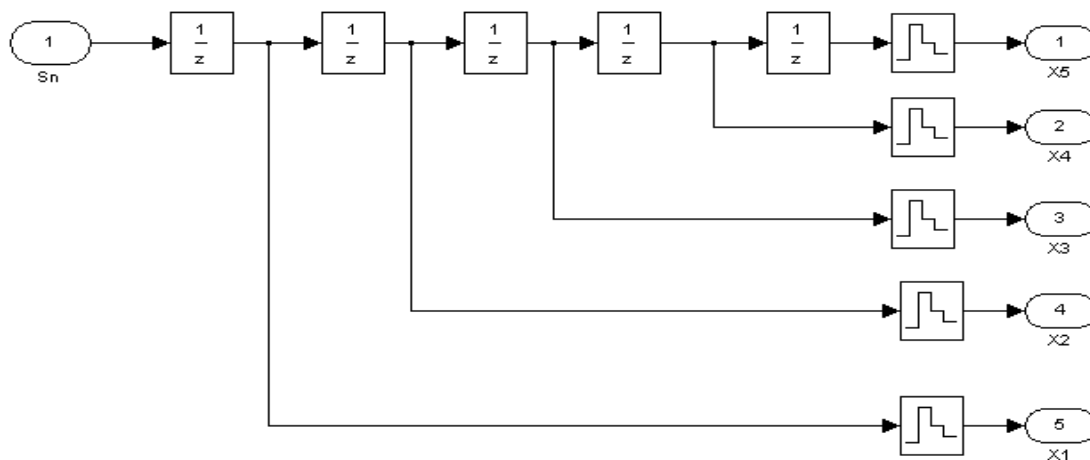


Figura4.18: Convertidor Serie-Paralelo.
Elaborado por: Autor

En la figura4.19 se muestra la salida más significativa del convertidor serie-paralelo (X_5), la forma de la señal fundamenta la explicación anterior. La transformación que sufre la secuencia de datos es consecuencia de los bloques de demora implementados.

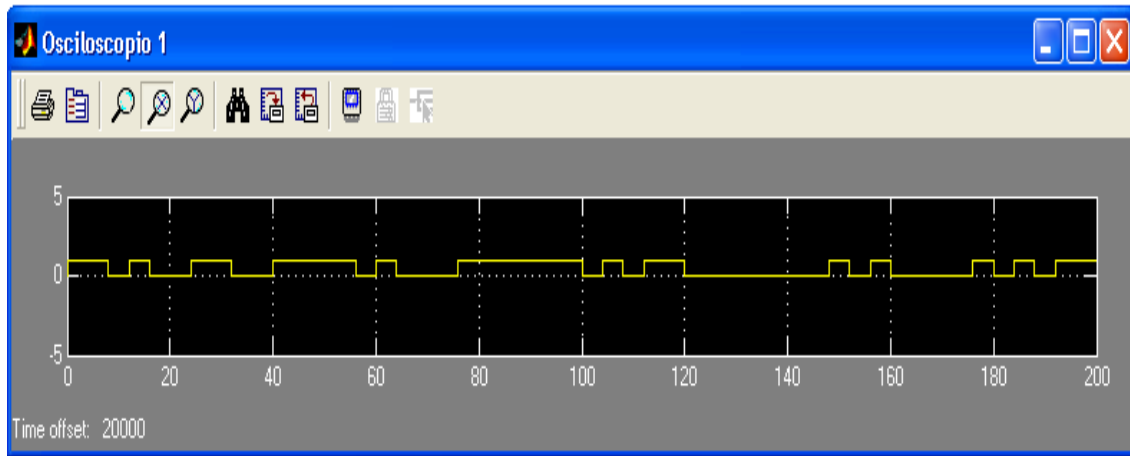


Figura4.19: Señal de la salida más significativa (X_5) del registro serie-paralelo.

Elaborado por: Autor

4.5.3 Codificador Convolutacional

La codificación convolutacional se emplea como ya se ha explicado en el trabajo para adicionar redundancia a los datos menos significativos que salen del registro y que por demás serán transmitidos por un canal de características ruidosas (alta probabilidad de error). El codificador convolutacional utiliza un código de longitud 7 (el estándar recomienda longitudes de 5, 6 y 7).

A partir de la codificación convolutacional se obtienen entonces los seis flujos que formarán la señal PAM-64. El codificador convolutacional es de tipo unidimensional de razón $\frac{1}{2}$, de cada símbolo de entrada se obtienen 2 símbolos de salida. Se implementó un codificador convolutacional de tipo unidimensional debido a la rapidez de recuperación de estos, al tiempo que brinda un rendimiento equivalente a la codificación multidimensional. El presente codificador proporciona una ganancia de 5,1 dB y los códigos convolutacionales que se utilizaron fueron los siguientes:

$$A = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1]$$

$$B = [1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1]$$

El presente codificador convolutacional se implementó a partir de demoras, compuertas AND y XOR como lo especifica la recomendación para SHDSL (G-991-2, 2003). En la figura 3.20 se muestra el esquema funcional del codificador.

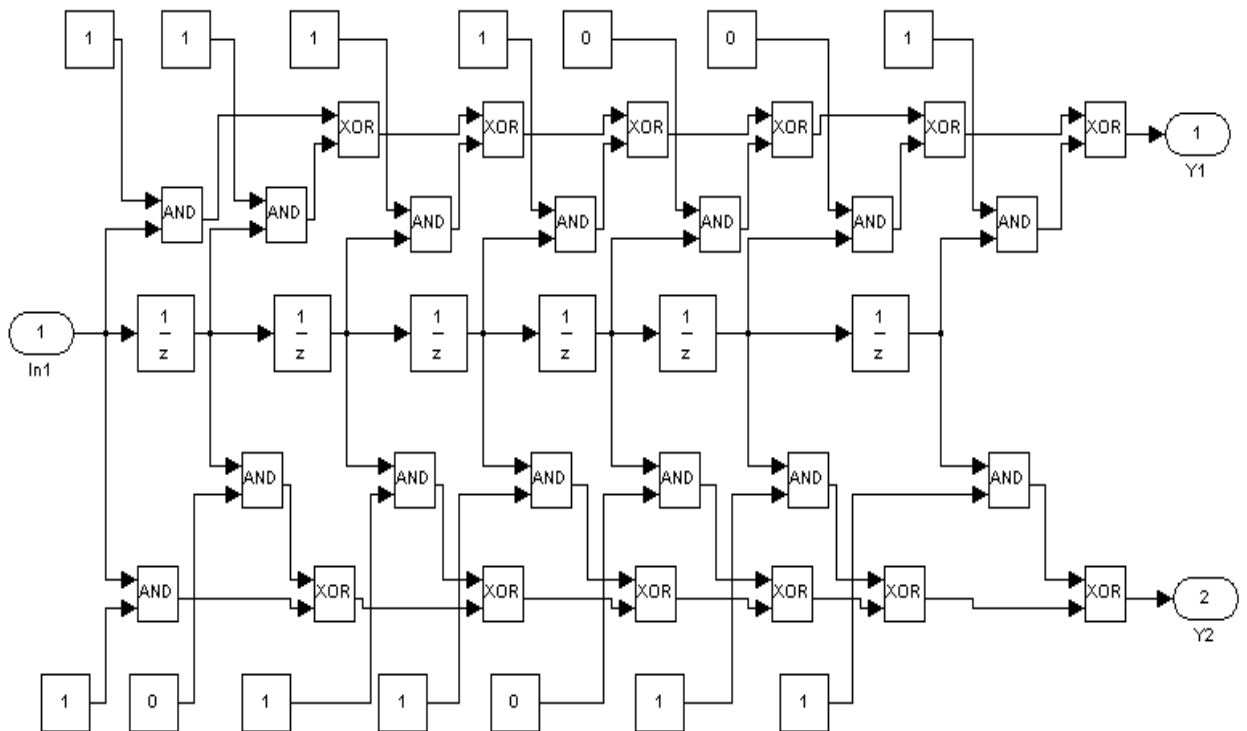


Figura4.20: Codificador Convolutivo implementado.
Elaborado por: Autor

El funcionamiento objetivo del codificador convolutivo se comprende mejor a partir de la figura 4.21. Esta figura muestra las salidas Y_1 e Y_0 que se generan a partir de la señal menos significativa X_1 , señal a la cual se le aplica el código convolutivo.

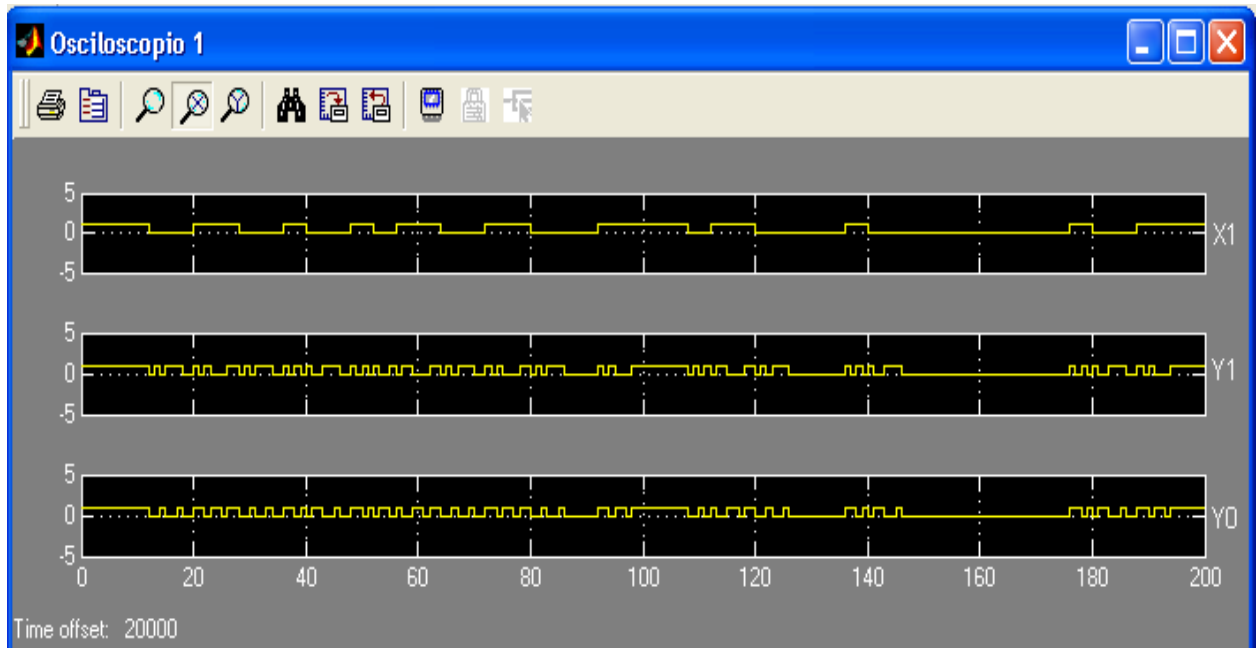


Figura4.21: Salidas Y_1 e Y_0 que se generan a partir de X_1 .
Elaborado por: Autor

4.5.4 Codificador de línea para PAM-64

Este bloque es el de mayor importancia en el presente trabajo, es el bloque que conforma como tal la señal PAM 64. Con ello se cumple uno de los objetivos fundamentales del trabajo. Para la implementación del presente codificador de línea, se empleó los datos o valores para cada símbolo presentados en la Tabla4.2(G-991-2, 2003). El esquema del codificador implementado puede observarse en la Figura4.22.

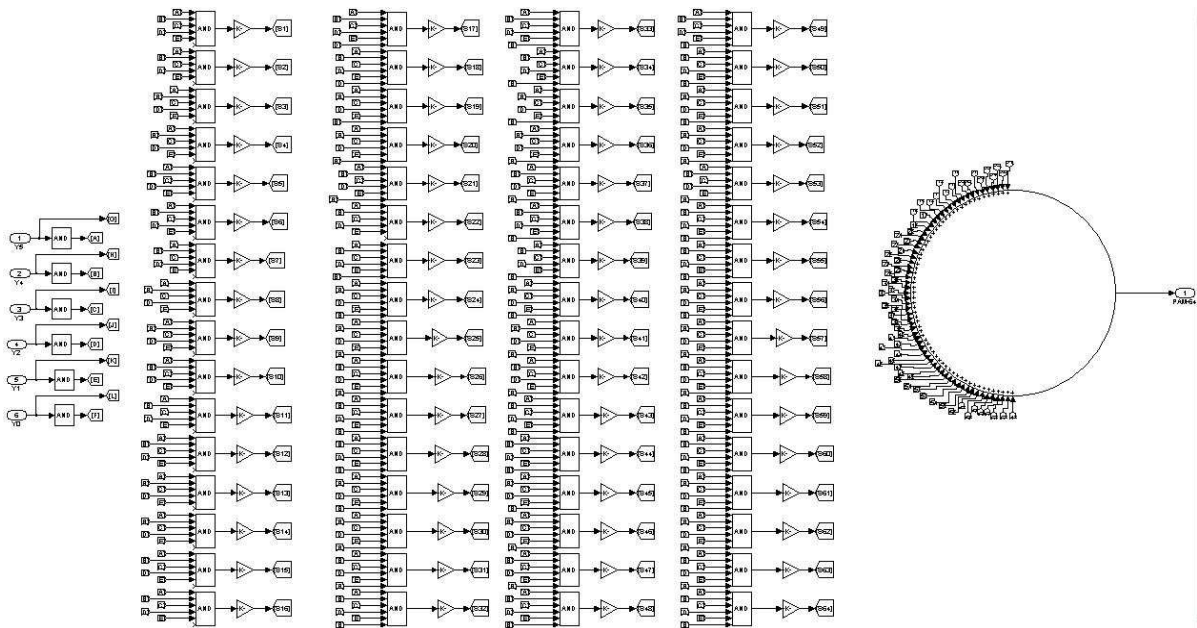


Figura4.22: Codificador de línea para PAM-64

Fuente: (G-991-2, 2003)

Para lograr la señal PAM-64, una lógica combinacional compuesta por compuertas AND y NOT se activa, una cada vez, por la combinación de los dígitos de entrada (6 dígitos para este caso), desde el más significativo hasta el menos significativo.

Cada una de las 64 salidas AND tiene asignado un peso en un bloque de ganancia (*Gain*) que corresponde al nivel de voltaje fijado para cada símbolo según la Tabla4.2(G-991-2, 2003). Por último, un sumador pone en la salida del codificador el nivel de voltaje correspondiente a la combinación de los dígitos de entrada. Por lo que a la salida del transmisor es posible observar la señal PAM-64, producto de la codificación de los dígitos de la fuente binaria. La figura 4.23 muestra la señal PAM-64 que se obtiene a la salida de la etapa transmisora y la secuencia de datos binarios que le dio origen. Se observa una severa transformación de este último producto de las técnicas de codificación que se han aplicado.

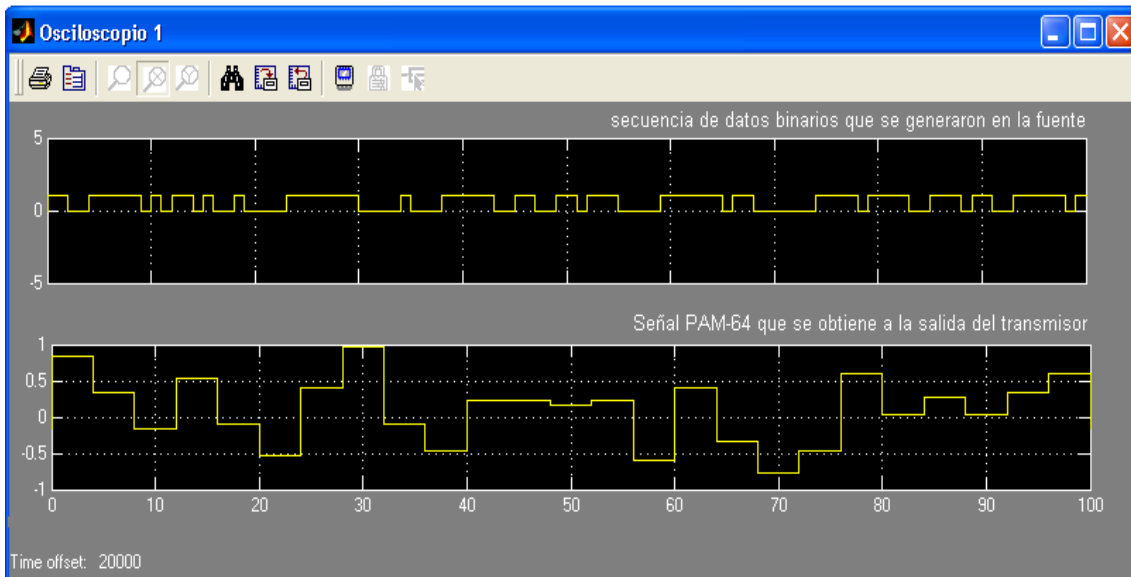


Figura 4.23: Señal binaria que se generó y señal SHDSL codificada con PAM-64 que se obtuvo
Elaborado por: Autor

Luego de este resultado se resume que para la señal PAM resultante cada símbolo multivalente tiene la duración de cinco dígitos binarios que son los que contienen información de la señal original (el sexto bit es de redundancia). Esto ocurre como bien se ha explicado en el trabajo porque el sexto dígito de la codificación se obtiene en el codificador convolucional y no a partir de un sexto flujo de datos de la fuente.

No obstante, la función de este sexto bit dentro de la señal es de suma importancia, gracias al código convolucional que se le aplica, la señal tiene alta inmunidad al ruido en el canal y resulta por tanto en una señal más robusta.

4.5.5 Características de la señal PAM obtenida

Luego de una descripción lo más detallada posible del principio de funcionamiento de cada una de las etapas que conforman el transmisor SHDSL con señal PAM-64 propuesto e implementado en este trabajo, en la figura 4.24 se muestra el esquema completo del sistema implementado en el Simulink y los resultados técnicos de la simulación.

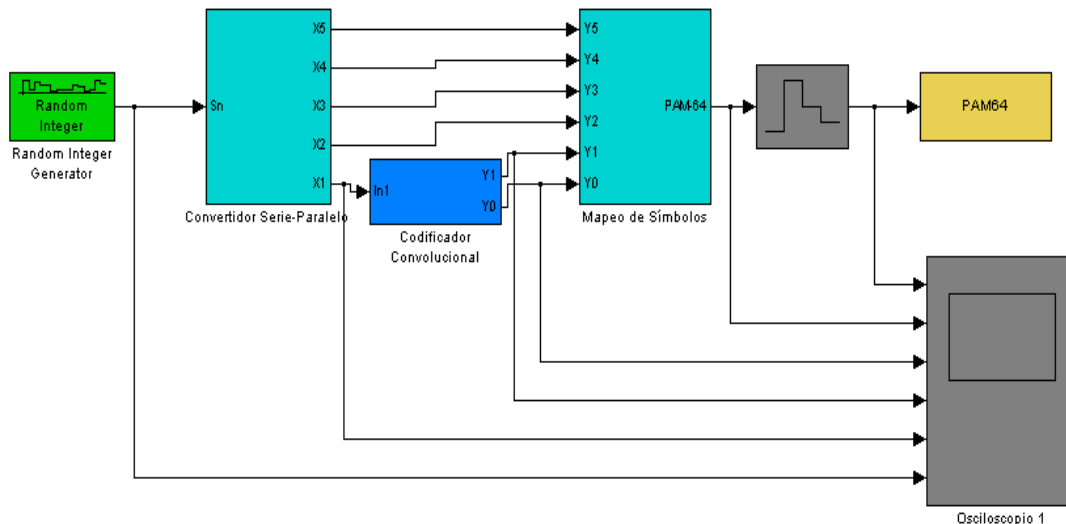


Figura4.24: Transmisor SHDSL con PAM-64
Elaborado por: Autor

Rango dinámico: 1.765 V (13.5dBm para un cable de 135 Ω).

Valor del símbolo 1: -0.984 v

Valor del símbolo 32: -0.984 v

Velocidad de Señalización de la fuente binaria: $V_s/5$.

Estos valores se obtuvieron a partir de datos recomendados por las normas G.9991.2 (G-991-2, 2003) y G.996.1. Estas normas describen los procedimientos de prueba y montajes de laboratorios para equipos DSL. Siempre en ambiente de simulación.

4.8 Mercado de las tecnologías SHDSL basadas en PAM-64.

En este trabajo se ha implementado una nueva técnica de codificación para la tecnología SHDSL. TCPAM-64 aunque aún no forma parte o no está estandarizada bajo la recomendación G.991.2, se ha reconocido en algunas localidades de Europa como una señal propietaria (España, Dinamarca, Suecia). En este marco se hace necesario la implementación de esta técnica que permite incrementar aún más, sin violar los parámetros de calidad y funcionamiento de la Recomendación (G-991-2, 2003), los niveles de transmisión de los actuales enlaces SHDSL.

De esta forma, los usuarios que acceden a este tipo de tecnología por su sencillez y bajo costo, podrían disfrutar a la vez de tasas de transmisión que no limitarían el acceso a los servicios interactivos y multimedia que ofertan los proveedores. Partiendo de que para que la nueva propuesta para SHDSL sea fiable, debe mantener el relativo bajo costo que

caracterizan las xDSL en general, así como su eficiencia; es importante analizar el estado actual de los módems SHDSL en el mercado.

4.9 Módems SHDSL basados en PAM-64.

Que una técnica de transmisión de datos se imponga en el mercado depende de dos factores fundamentalmente: que cumpla con las expectativas para lo cuál ha sido propuesta, o sea, que de solución a las necesidades de los clientes y, sobre todo, que sea realizable desde el punto de vista práctico, a un precio razonable. Algunos de los principales fabricantes de módems SHDSL como se explicó anteriormente son las empresas PairGain, Conexant, Oneaccess y Motorola. Cada uno de los módems que salen al mercado debe cumplir con las recomendaciones de la técnica así como con los parámetros de calidad que imponen los servicios.

4.9.1 Módems SHDSL "FlexDSL Orión2+" (FlexDSL).

Este es el módem del fabricante Suizo FlexDSL Orión SHDSL.bis. Entre sus características más importantes están:

- Soporta TCPAM 16/32/64.
- Tasa de transferencia de 11.4 Mbps sobre un solo par y 22.8 Mbps sobre dos pares de cobre ("*bonding*"), la hoja de datos no especifica el alcance efectivo de la señal, no obstante aplicando la teoría, esta velocidad es para lazos muy cortos ≈ 1 Km.
- Interfaces Físicas RJ45 (Ethernet), RJ48 (E1 y SHDSL), DB9 (Administración), Molex (Alimentación).
- Servicios Pto a Pto - Pto a Multipunto y Multiservicios.
- Proporciona hasta 4 interfaces E1, que a su vez apoyan los servicios G703/704.
- Proporciona 4 puertos Ethernet (10/100 Base T), que aseguran la conectividad con la funcionalidad de puente.
- Solución perfecta para una amplia gama de aplicaciones en las que los servicios TDM e IP deben ser transmitidos a través de pares de cobre.

Como todos los productos de FlexDSL Orión el módem FlexDSL Orión 2+ se basa en componentes industriales fabricados según los más altos estándares de calidad. En la figura 4.25 se muestra el módem FlexDSL Orión2+ y el esquema interno del mismo.



Figura 4.25: MódemFlexDSL Orion 2+ SHDSL.bis
Fuente: (G-991-2, 2003)

En la actualidad no es posible mencionar una alta gama de módems SHDSL que implementen la técnica de Codificación TCPAM-64. Ya se explicó que dicha técnica aunque reconocida en zonas de Europa como propietaria aún no está estandarizada bajo la Recomendación (G-991-2, 2003). Por esta razón esta novedosa técnica no se ha divulgado abiertamente y sus productos y documentación constituyen secretos de empresas. Los escasos productos que han salido al mercado basados en TCPAM-64 se caracterizan porque en sus especificaciones cumplen con las normas de la Recomendación G.991.2 (G-991-2, 2003).

El desarrollo tecnológico de los módems SHDSL ha continuado en ascenso como consecuencia de la fuerte competencia que ejercen en el mercado mundial otras técnicas de acceso como: ADSL2+ y VDSL2. Por lo que actualmente ya se desarrollan módems SHDSL que implementan TCPAM-128 y brindan tasas de transferencia de datos en el rango de (15,2 Mbps sobre un solo par y 60,8 Mbps sobre cuatro pares de cobre). Independientemente que el fabricante no especifica el alcance de este módem, los fundamentos teóricos de esta tecnología (SHDSL) demuestran que estas tasas solo se alcanzan para lazos muy cortos.

Una idea del desarrollo que está alcanzando SHDSL se demuestra al comparar estas tasas de transferencia de datos con las tasas que ofrece la última técnica xDSL: VDSL2. Esta nueva técnica ofrece en teoría de 100 a 200 Mbps. En la práctica los módems que desarrollan esta tecnología solo han alcanzado los 30 Mbps para una distancia máxima de 1 km. Por lo que se puede concluir que SHDSL ejerce una fuerte competencia en el mercado de técnicas de acceso xDSL.

Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo al desarrollo tecnológico alcanzado en las telecomunicaciones de manera global, el número de empresas aumenta aceleradamente. En este marco se exigen técnicas de accesos de alcance mayor, confiables, con una variada gama de servicios y económicamente rentables. A partir de la investigación realizada durante el desarrollo del presente trabajo, se demuestra mediante análisis técnicos-teóricos y pruebas prácticas sobre la tecnología SDSL/SHDSL, la importancia del despliegue de esta tecnología para usuarios y empresas que demandan servicios de banda ancha.

5.1 Conclusiones.

A partir de la investigación realizada durante el desarrollo del trabajo, donde se realizó un análisis sobre las posibilidades de implementar una nueva técnica de codificación (TCPAM-64) para la técnica de acceso SHDSL y sobre todo, a partir de los resultados obtenidos en el mismo, es posible llegar a las siguientes conclusiones:

- Las tecnologías xDSL son de vital importancia para las nuevas aplicaciones presentes en el mercado de las comunicaciones, por lo que el cobre se ha convertido en el soporte más barato y viable para ofrecer servicios de transmisión de información de banda ancha.
- SHDSL se ha colocado a la cabeza de las tecnologías de banda ancha simétricas en ambiente no solo empresarial sino también para clientes individuales, debido a que brinda servicios que requieren de tasas de transmisión con carácter simétrico como: aplicaciones multimedia interactivas (telecompras, comercio electrónico, enseñanza a distancia, teletrabajo, juegos en línea).
- La técnica de unión de transceptores SDSL (“bonding”) permite a los módems que desarrollan esta variante alcanzar tasas de transferencias competentes dentro del mercado de las tecnologías XDSL.
- Los excitadores y receptores de línea son de necesario estudio a la hora de diseñar novedosos módems que implementen potentes técnicas de codificación de datos.
- La sensibilidad de los excitadores y receptores de línea de los módems SHDSL demanda de una disciplina y una metodología a seguir a la hora de realizar el tendido del par telefónico.

- La codificación convolucional es una técnica indispensable y de vital importancia para lograr la codificación TCPAM-64.
- Se ha implementado de manera práctica y exitosa, la propuesta de simulación para SHDSL de una nueva técnica de codificación, PAM-64 que, entre las ventajas que aporta, está el incremento en factores de 5/3 de la tasa de transferencia de datos con respecto a la modulación básica para SHDSL. TCPAM-16.
- Se obtuvieron simulaciones gráficas que muestran el comportamiento de la técnica de codificación propuesta.
- La simulación realizada posee gran importancia, pues la implementación de este modelo constituye una potente herramienta en manos de un especialista en la rama. A partir de esta simulación es posible conocer las modificaciones a realizar a la hora de elevar el nivel de estados de la técnica de codificación propuesta.
- La exitosa simulación de la técnica de codificación TCPAM-64 es una opción para el desarrollo de módems más novedosos que ofrezcan tasas de transferencia de datos más elevadas, que respondan a las necesidades actuales de los usuarios y que garantice la competencia en el mercado de la tecnología SHDSL frente a otras como: ADSL2+ y VDSL2.

5.2 Recomendaciones.

- Promover investigaciones acerca de los aspectos tecnológicos relativos al hardware SHDSL que conduzcan al desarrollo de propuestas que garanticen la continuidad de la tecnología.
- Profundizar los fundamentos teóricos de las técnicas de codificación para la tecnología SHDSL y analizar la posibilidad de implementación en un ambiente de simulación de TCPAM-128.
- Extender las aplicaciones de la tecnología SHDSL para un despliegue más amplio en nuestro país., tanto en el ámbito empresarial como en obras de carácter social.

Bibliografía

Álvarez, F. (2003). RDSI-BE/N-ISDN.1ra Parte. *Dpto. de Telecomunicaciones y Electrónica. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.*

ATM-Forum. (1999). *Inverse Multiplexing for ATM (IMA) Specification Version 1.1* . ATM Forum AF-PHY-0086.001.

datasheetarchive. (2002). *Hoja de datos del chipset XDSL2 SDSL, HDSL2, and SHDSL - ILD2*. Recuperado el 23 de Mayo de 2012, de <http://www.datasheetarchive.com/>

datasheetcatalog. (2005). *Hoja de datos del chipset M28975.pdf* . Recuperado el 23 de Mayo de 2012, de [http:// www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com)

DSL Forum. (s.f.). Recuperado el 12 de Abril de 2012, de <http://www.dslforum.org>

DT-2009/379. (s.f.). *Resolución de Modificación PGE-OBA para e-SHDSL a 8.5Mbps*.

DT 2009/379. Recuperado el 25 de Mayo de 2012, de COLT TELECOM ESPAÑA S.A.U.: <http://www.telefonicaonline.es>

ETSI-TS-101-524-2-v1-1-1. (s.f.). *Transmission and Multiplexing (TM); Access Transmission System on metallic access cables Symmetrical single pair high bit rate digital subscriber line (SDSL) Part 2: Transceiver requirements*.

FlexDSL. (s.f.). *Hoja de datos del modem FlexDSL Orión 2+*. Recuperado el 23 de Mayo de 2012, de <http://www.shdsl.com> <http://www.FlexDSL.ch>.

G-991-2. (2003). *Single-Pair High-Speed Digital Subscriber Line (SHDSL) Transceivers* .Recuperado el 12 de Abril de 2012, de ITU-T Recommendation G.991.2: <http://www.uit.int>.

G-991-2-Enmienda-2. (2005). *Recomendación UIT-T G.991.2 Enmienda 2*. Recuperado el 2 de Mayo de 2012, de <http://www.uit.int>.

IETF-RFC-1990. (1996). *The PPP Multilink Protocol (MP)*.

Infante, A. (s.f.). Tecnologías de altas velocidades para los abonados telefónicos locales: fundamentos, análisis comparativo y perspectivas. *Universidad de Oriente. Santiago de Cuba*.

Leshem, A. (Septiembre de 2001). *Multichannel noise models for DSL I: Near end crosstalk*. Contribution T1E1.4/2001-227.

Line-Driver-AD8018. (2005). *Hoja de datos del Line Driver AD8018.pdf*. Recuperado el 23 de Mayo de 2012, de [http:// www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com)

netSys. (s.f.). Recuperado el 2 de Mayo de 2012, de <http://www.netsys.com.tw>

oneaccess-net. (s.f.). *Hoja de datos del módem SHDSL del fabricante TELINDUS*. Recuperado el 23 de Mayo de 2012, de [http:// www.oneaccess-net.com](http://www.oneaccess-net.com).

Starr, T., Sorbara, M., Cioffi, J., & Silverman, P. (2002). *DSL Advances*. Prentice Hall PTR.

T1-422. (2003). *Single-Pair High-Speed Digital Subscriber Line (SHDSL) transceivers*.

T1E1-4/2001-006R2. (2001). *Draft Standard: High Bit Rate Digital Subscriber Line—2nd Generation (HDSL2/HDSL4) Issue 2*. T1E1.4/2001-006R2.

T1E1-4/97-300. (1997). A 512-State PAM TCM Code for HDSL2. *Pairgain Technologies*.

T1-T1-418. (2000). *High Bit Rate Digital Subscriber Line—2nd Generation (HDSL2)*. Committee T1-T1.418-2000.

Trend-Communications. (s.f.). *DSL Testing. G.SHDSL: Introduction, aplicaciones and test methodologies*. Recuperado el 2 de Mayo de 2012, de <http://www.trendcomms.com>

(s.f.). *User's Guide. MATLAB-SIMULINK*. Math Works, Inc.

xDSLtutorial. (s.f.). Recuperado el 2 de Mayo de 2012, de Compañía PairGain. <http://www.pairgain.com>.

Glosario de Términos

A

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line - Línea de Abonado Digital Asimétrica.

AFE: Analog Front End -InterfazAnálogica

ATM: AsynchronousTransferMode – Modo de TransferenciaAsincrónico.

ANSI: American National Standard Institute - Instituto Americano de Normas de Telecomunicaciones.

AWG: American Wire Gauge –Norma Norteamericana para el calibre del cobre.

C

CAP: CarrierlessAmplitude/PhaseModulation - Modulación de Fase y Amplitud sin Portadora.

CO: Central Office - Oficina Central.

CPE: CustomerPremisesEquipment -Equipo en las instalaciones del cliente.

CWDM: CoarseWavelengthDivisionMultiplexing-Multiplexación por división en longitudes de onda ligeras.

D

DACS: Digital Access CarrierSystem - Portador de Sistema con Acceso Digital.

DSL: Digital Subscriber Line - Línea Digital de Abonado.

DEP: Density Espectral Potency – Densidad Espectral de Potencia.

DHCP – Dynamic Host ConfiguredProtocol - Protocolo de configuración de Host dinámico.

DMT: DiscreteMulti-ToneModulation - Modulación Multitono Discreta.

DS: Downstream – Descendente.

DSP: Digital SignalProcesing – Procesador Digital de Señales.

DSLAM: Digital Subscriber Line Access Multiplexer – Multiplexor de Acceso DSL(proporciona a los abonados acceso a los servicios xDSL).

DWDM: Dense WavelengthDivisionMultiplexing- Multiplexación por división de longitud de onda densa.

E

ETSI: EuropeanTelecommunicationsStandardsInstitute - Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones.

Ethernet: Constituye un protocolo de red LAN.

F

FDD: FrequencyDivisionDuplexing – Duplexación por División de Frecuencia.

FDM: FrequencyDivisionMultiplexing - Multiplexación por División de Frecuencia.

FEXT: Diafonía Lejana

H

HDSL: High Bit Rate Digital Subscriber Line - Línea Digital de Abonado de Tasa con Transferencia de alta velocidad.

HFC: HybridFiberCopper - Híbrido de Fibra y Coaxial.

I

IC: Integrated Circuit – Circuito Integrado.

IEEE: Institute of Electrical&ElectronicsEngineers – Instituto de Ingenieros en Eléctrica y Electrónica.

ILD: Integrated Line Drive - Controlador de línea integrado

IP: Internet Protocol – Protocolo de Internet.

ISDN: IntegratedServices Digital Network - Red Digital de Servicios Integrados.

ISI: Interferencia Intersímbolo.

ISP: Internet ServiceProvider - Proveedores de Servicios de Internet.

ITU/UIT: International TelecommunicationUnion – Unión Internacional de Telecomunicaciones.

L

LAN: Local Area Network – Red de Área Local

LMDS: Sistema de Distribución Multipunto Local

M

Mbps: Mega bits por segundo (Refiere a Tasa de Transferencia de Datos).

MMDS: MultichannelMultipointDistributionService - Sistema de Distribución Multipunto Multisistema.

MPLS: Multi-ProtocolLabelSwitching - Conmutación por Etiquetas Multiprotocolo.

MSTO: Mobile TelephoneSwitching Office - Oficina Conmutadora de Teléfonos Móviles.

O

OBA: Oferta de Referencia de Acceso al Bucle de abonado.

Optis: Overlapped PAM TransmissionwithInterlockingSpectral -Transmisión PAM con solapamiento y espectros entrelazados.

P

P2P: Point-to-Point (Servicio de conexión entre dos puntos).

PGE: Plan de Gestión del Espectro

PON: PassiveOptical Network - Red Óptica Pasiva basada

POTS: Plain Old TelephoneService - Servicios Telefónicos Locales Tradicionales.

PSTN: PublicSwitchedTelephone Network - Red Telefónica Pública Conmutada.

PSD: PotencySpectralDensity – Densidad Espectral de potencia

PVC: Permanent Virtual Connection - Conexiones Virtuales Permanentes.

PYME: Pequeña y Mediana Empresa

Q

QoS: Quality of Service – Calidad de Servicio.

R

RDSI: Red Digital de Servicios Integrados.

S

SDH:Synchronous Digital Hierarchy- Jerarquía digital síncrona.

SDSL: Symmetric Digital Subscriber Line- Línea digital de abonado simétrica.

SHDSL: Single Pair High Speed Digital Subscriber Line- Línea digital de abonado de un solo par de alta velocidad.

Splitter: Dispositivo pasivo que distribuye la señal (óptica o eléctrica) por 2 o más caminos para distribuirlo entre varios receptores simultáneamente.

T

T1/E1: Conexión de datos punto a punto, que típicamente se ha utilizado para dar servicios de datos a las empresas. T1 es una conexión de entrada a las redes SONET a 1,5 Mbps, y E1 es una conexión de entrada a les redes SDH a 2,5 Mbps.

TCM: Time Compressed Multiplex -Múltiplex con compresión en el tiempo.

TDM: Time DivisionMultiplexing- Multiplexación por división de tiempo.

TDMA: Time DivisionMultiple Access – Acceso Múltiple por División en el Tiempo.

V

VDSL: Very-High-Rate Digital Subscriber Line – Línea de suscripción digital de abonado de muy alta velocidad.

VoD: Video onDemand- Video bajo demanda.

VoIP: Voice over IP – Vozsobre IP

VPN: Virtual Private Network - Red Privada Virtual

W

WAN: Wide Area Network – Red de Area Amplia.

WLL: Wireless Local Loop- Bucle local inalámbrico.

X

XDSL: x Digital Subscriber Line- Tecnologías de línea digital de abonado.

Anexos

Posición del AD8018 dentro del módem.

