

# CODIFICACIÓN EN BANDA BASE

---

## 5.1. INTRODUCCIÓN A LAS REDES DE ACCESO

Las redes de acceso interconectan los dispositivos de usuario con la red de distribución o transporte. Esta interconexión entre el usuario y la red se realiza a través de topologías físicas, en árbol, punto a punto, estrella, etc. Estas redes son fundamentales en el desarrollo de los nuevos servicios de banda ancha, aproximando la red de banda ancha al usuario. Sus prestaciones y costos dependen del medio físico empleado. Las velocidades de transmisión oscilan desde algunos Kbps hasta varios Gbps. Además, ofrecen funcionalidades de nivel de enlace.

### 5.1.1. CLASIFICACIÓN DE REDES DE ACCESO EN FUNCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

Los medios físicos empleados por las redes de acceso pueden ser alámbricos, inalámbricos y combinados. A continuación hacemos una breve recapitulación:

#### 5.1.1.1. Medios alámbricos.

Entre los medios más importantes tenemos:

- Cable coaxial: Redes de cable. HFC (*Hybrid Fiber optic Coaxial network*).
- Par de cobre: Familia xDSL.
- Fibra óptica: FTTH fibra hasta el hogar (*Fiber Trunk To Home*).  
FTTC fibra hasta la esquina (*Fiber Trunk To Curb*).  
FTTB fibra hasta el edificio (*Fiber Trunk To Building*).

#### 5.1.1.2. Medios inalámbricos

Entre los principales medios tenemos:

- Radioenlaces.
- Radioenlaces para bajas densidades: Lazo local inalámbrico (*Wireless Local Loop – WLL*), LMDS, MMDS.

#### 5.1.1.3. Medios combinados

Estas redes de acceso combinan varios medios y tecnologías:

- HFC : Fibra, coaxial y par trenzado. Óptica y electromagnética.
- FTTC : Fibra y par trenzado. Óptica y electromagnética.

### 5.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES DE ACCESO POR FIBRA ÓPTICA

Estas redes están caracterizadas por:

- El ancho de banda deja de ser un recurso escaso.
- Son inmunes a las radiaciones electromagnéticas.
- Su implementación requiere una gran inversión, aunque con una rentabilidad dudosa.
- Se componen de dispositivos y sistemas ópticos que son costosos.
- Su normalización es incipiente.
- Pueden ofrecer servicios de difusión (*broadcast*) o conmutados, simétricos o asimétricos.
- Son aptas para todo tipo de tráfico y velocidades de transmisión.

### 5.1.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES DE ACCESO DE CABLE

Las redes de acceso basadas en las tecnologías del cable tienen estas características:

- Suministran gran ancho de banda, del orden de varios megahercios.

- El medio físico es compartido.
- Requieren protocolos complejos de acceso al medio.
- Permite tráficos del tipo de velocidad de transmisión constante (*Constant Bit Rate - CBR*), velocidad de transmisión constante (*Variable Bit Rate -VBR*) y velocidad de transmisión no específica (*Unspecific Bit Rate -UBR*).
- En algunos países el desarrollo de la red es una evolución natural de las redes analógicas de distribución de televisión por cable.
- Se emplean básicamente para servicios residenciales, ofreciendo una fuerte asimetría. Tienen a ofrecer servicios globales de telecomunicaciones (video, telefonía, datos, etc.).

#### 5.1.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES DE ACCESO DE COBRE

Las redes de acceso basadas en el par de cobre del bucle de abonado se pueden configurar en el lazo digital con bajo costo. Sus características son:

- Se utiliza la infraestructura de abonado de la red de telefonía básica.
- El ancho de banda es reducido, de algunos megahercios y en función de la distancia.
- El medio físico, par de cobre sin apantallar, es muy ruidoso.
- Hay diafonías e intermodulaciones entre pares.
- Ofrece servicios simétricos y asimétricos.

### 5.2. ORGANISMOS DE NORMALIZACIÓN

Entre estos organismos normativos los más importantes son:

#### 5.2.1. FORUM ADSL

Tiene por objetivos desarrollar recomendaciones tecnológicas e introducir de forma masiva la tecnología ADSL en el mercado. Está compuesto por dos comités:

- *Technical Committee.*
- *Marketing Committee.*

Estos comités tienen más de 300 miembros, entre los que tenemos:

- Fabricantes (Cisco, Fore, Newbridge, Alcatel, Ericsson, Nortel, NEC, etc.).
- Fabricantes de ordenadores personales (Intel, Microsoft, etc.).
- Operadores (NTT, BT, MCI Worldcom, etc.).

#### 5.2.2. ETSI (EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE)

Tiene por objetivos desarrollar y producir recomendaciones de telecomunicaciones. Fue creado en 1988 y está compuesto de más de 41 administraciones, 70 operadores, 220 fabricantes, entre otros. Los comités técnicos se dividen en:

- TM Transmisión y multiplexado (*Transmission and Multiplexing*).
- NA Aspectos de red (*Network Aspects*).
- CN Redes corporativas (*Corporate Networks*).
- BRAN Redes de acceso radio de banda ancha (*Broadband Radio Access Network*).
- DECT Telecomunicaciones inalámbricas digitales mejoradas (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications*).
- CTM Movilidad de terminales inalámbricos (*Cordless Terminal Mobility*).

#### 5.2.3. GRUPOS DE TRABAJO

Estos grupos están relacionados con las aplicaciones, el nivel físico, la representación de la información, la seguridad y la integración de los sistemas.

#### 5.2.4. ETSI

El subgrupo TM6 es el responsable del desarrollo de las normas de la tecnología xDSL. Es el equivalente al grupo T1E1.4 de ANSI.

#### 5.2.5. DAVIC

Este grupo denominado Concejo de Audio y Video digital (*Digital Audio Video Council - DAVIC*) desarrolla especificaciones técnicas que aseguran interoperabilidad extremo-extremo entre las aplicaciones audiovisuales.

**5.2.5.1. COMITÉ T1**

Este cuerpo, fundado por AT&T y acreditado por ANSI (*American National Standards Institute*), está formado por 6 subcomités técnicos denominados: T1A1, T1E1, T1M1, T1P1, T1S1 y T1X1.

El comité T1E1 se especializa en interfaces, potencia y protección para redes y se divide en grupos de trabajo. El grupo de trabajo T1E1.4 desarrolló la norma T1.413 del DSL en 1995.

**5.3. TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN. NIVEL FÍSICO**

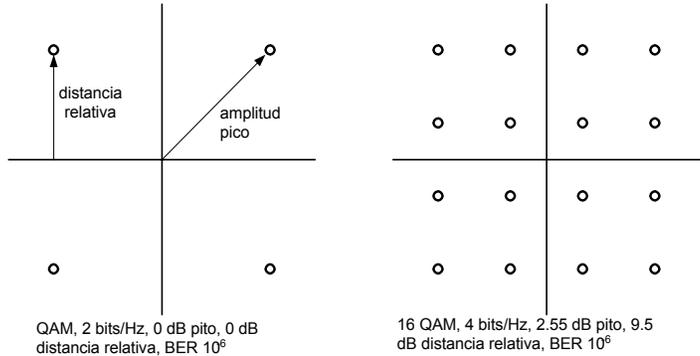
En las redes de acceso la transmisión de información se realiza en:

- a) **Codificación banda base**  
Se emplean códigos de línea (HDB3, 2B1Q, alfabéticos, etc.) y canceladores de eco.
- b) **Banda trasladada**  
Se emplean modulaciones: QAM, DMT (multitono).

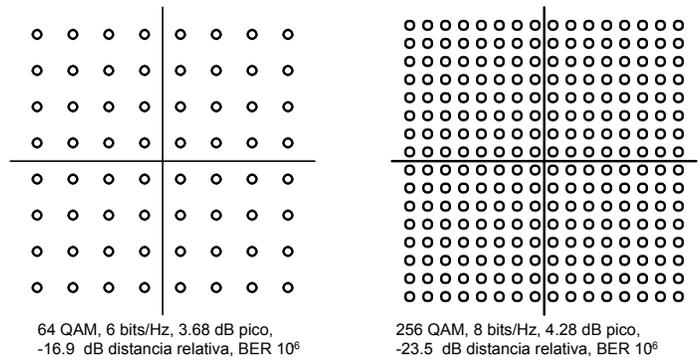
**5.4. COMPARACIÓN DE LAS MODULACIONES MÁS USUALES**

Las figuras 5.1 y 5.2 grafican las técnicas de modulación usadas en los módems xDSL. Estas técnicas de modulación se emplean en conjunto con:

- **Codificación de canal FEC** (*Forward Error Correction*)  
Códigos Reed - Solomon y de convolución
- **Entrelazado:** bloque o convolucional.
- **Ecuilización:** lineal en el dominio de la frecuencia, ecualizador de realimentación de decisión (*Decision Feed-back Equalizer - DFE*)
- **Seudoaleatorización.**



**Figura 5.1** Técnicas de modulación



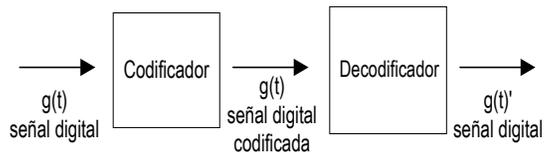
**Figura 5.2** Técnicas de modulación

**5.5. CODIFICACIÓN EN BANDA BASE**

A continuación desarrollamos los códigos banda base, para luego explicar las tecnologías xDSL más importantes. En primer lugar definamos el entorno de este tipo de codificación en la figura 5.3.

En este tipo de modulación se codifica una señal digital en otra señal digital que se transmite al medio. Luego en el otro extremo, el decodificador decodifica y entrega la señal original al receptor. En este contexto, es necesario definir unos términos básicos.

Si todos los elementos de una señal digital tienen igual signo algebraico, es decir, todos son positivos o negativos, entonces la señal es **unipolar**. En el caso de una señal polar, un estado lógico es representado por un nivel de voltaje positivo y el otro por un nivel de voltaje negativo.



**Figura 5.3** Esquema de la codificación en banda base

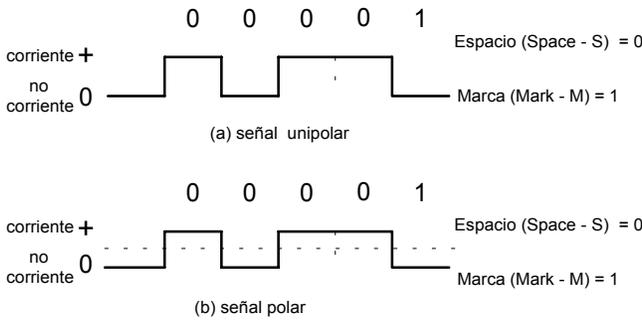


Figura 5.4 Tipos de señales: (a) unipolar (b) polar

Los términos **marca** (*mark* – M) y **espacio** (*space* – S), por razones históricas se refieren a los bits binarios **1** y **0** respectivamente. Estos tipos de señales se muestran en la figura 5.4.

**5.5.1. PERFORMANCE DE UN CÓDIGO BANDA BASE**

Los factores que determinan la performance de un receptor al interpretar la señal recibida son: la relación señal a ruido (o mejor

$E_b/N_0$ ), la velocidad de transmisión y el ancho de banda. Si los otros factores se mantienen constantes, los siguientes enunciados son válidos:

- Un aumento en la velocidad de transmisión incrementa la tasa de errores (la probabilidad de que un bit llegue con error).
- Un incremento de la relación señal/ruido disminuye la tasa de errores.
- Un incremento del ancho de banda permite aumentar la velocidad de transmisión.

Un factor adicional para mejorar la performance de un enlace es el uso de un esquema de codificación o más propiamente un código de banda base. Este código consiste en hacer corresponder (“mapear”) los bits de datos en los elementos de señal. Hay variedad de enfoques al respecto.

**5.5.2. EVALUACIÓN DE LOS CÓDIGOS BANDA BASE**

Los aspectos que se deben evaluar en el comportamiento de los códigos banda base son:

- a) **Espectro de señal:** Hay dos aspectos importantes del espectro. El primero es que una ausencia de componentes de alta frecuencia significa que se requiere menos ancho de banda para la transmisión. En segundo lugar, se desea una ausencia de componente de corriente directa. Cuando una señal tiene un componente de corriente continua, tiene que existir una conexión física directa entre los medios de transmisión. Sin este componente, se puede usar acoplamiento con transformadores, logrando un aislamiento eléctrico excelente y reduciendo la interferencia.
- b) **Capacidad de sincronización de señal:** El receptor debe determinar con la mayor exactitud el inicio y el fin de un bit. Para este efecto podría requerir un reloj de sincronización separado. Algunos códigos evitan este requerimiento.
- c) **Capacidad de detectar errores de la señal:** Se debe tener alguna capacidad para detectar los errores. Algunos códigos la tienen por naturaleza propia.
- d) **Interferencia a las señales e inmunidad al ruido:** Ciertos códigos exhiben una performance superior en presencia de ruido.

**5.6. CÓDIGOS BANDA BASE EN DETALLE**

A continuación tratamos estos códigos. Se presentan cinco categorías de códigos, cuyas formas de onda se diagraman en la figura 5.5 y su modo de operación se definen en la tabla 5.1.

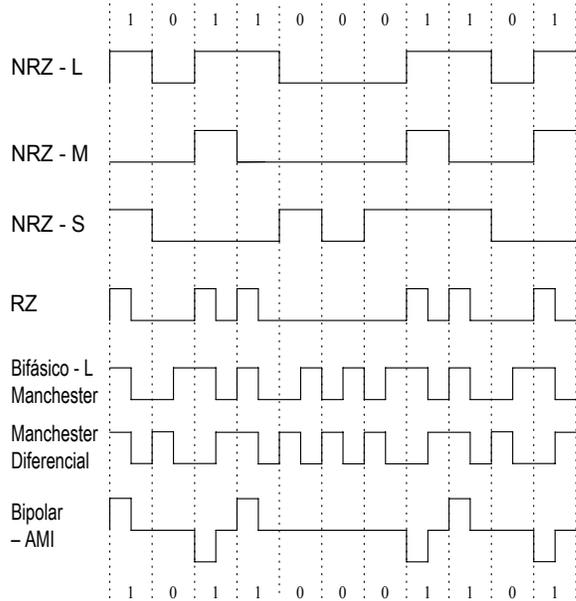


Figura 5.5 Formatos de codificación de señales en banda base

	Valor = 1	Valor = 0
<b>No retorno a cero-Level (NRZ-L):</b>	Alto nivel	Bajo nivel
<b>No retorno a cero-Mark (NRZ-M):</b>	Transición al inicio del intervalo	Sin transición
<b>No retorno a cero-Space (NRZ-S):</b>	Sin transición	Transición al inicio del intervalo
<b>Retorno a cero (RZ):</b>	Pulso en la 1ª mitad del intervalo del bit	Sin pulso
<b>Bifásico – Level (Manchester)</b>	Transición de alto nivel a bajo nivel en medio del intervalo	Transición de bajo a alto en medio del intervalo
<b>Bifásico – Mark</b> Siempre transición al inicio del intervalo	Transición en el medio del intervalo	Sin transición en el medio del intervalo
<b>Bifásico – Space</b> Siempre transición al inicio del intervalo	Sin transición en el medio del intervalo	Transición en el medio del intervalo
<b>Manchester diferencial</b> Siempre transición al inicio del intervalo	Sin transición al inicio del intervalo	Transición al inicio del intervalo
<b>Bipolar</b>	Pulso en la primera mitad del intervalo. Alternando en polaridad de pulso en pulso.	Sin pulso

**Tabla 5.1** Definiciones de los formatos de los códigos de banda base

- No retorno a cero (Non Return to Zero - NRZ).
- Retorno a cero (Return to Zero - RZ).
- Bifásicos (Manchester, Manchester diferencial, Bifásicos S y M).
- Binario multinivel (HDB3, 2B1Q).

### 5.6.1. CÓDIGOS NO RETORNO A CERO (NRZ)

Estos códigos, los más simples de implementar, tienen el nivel de voltaje constante durante el intervalo del bit, es decir, no hay transiciones de retorno intermedias a nivel de cero voltaje. El más sencillo de ellos es el NRZ-L (NRZ-nivel). Éste es usado para generar datos digitales por los terminales de procesamiento de datos y otros dispositivos. Si se va a usar otro código para la transmisión, éste es generado típicamente desde la señal NRZ-L. Existen dos versiones adicionales de estos códigos. Estos son el NRZ-M (NRZ-Marca) y el NRZ-S (NRZ-Espacio). El NRZ-M es también conocido como NRZ-I (NRZ-Invertido) y es utilizado por el protocolo SDLC de IBM. Entre las ventajas de los códigos NRZ-M y NRZ-S tenemos:

- Usan codificación diferencial. El valor de la señal de un elemento se codifica en base a la polaridad del elemento de señal anterior en vez de codificarlo como valor absoluto de la señal.
- En este esquema es más confiable detectar una transición en presencia de ruido que comparar a un valor de un nivel.
- En un sistema de transmisión complejo es fácil perder el sentido de polaridad de la señal. Por ejemplo, sobre una línea de multicable, si los pares trenzados que conectan a un dispositivo se invierten, los **unos** y **ceros** son invertidos, lo que no pasa con la codificación diferencial.

Estos códigos son fáciles de implementar y además hacen un uso eficiente del ancho de banda. Esta última propiedad es ilustrada en la figura 5.4, la cual compara el espectro de varios esquemas de codificación. En ella, la frecuencia está normalizada a la velocidad de transmisión (frecuencia /  $V_{\text{transmisión}} (\text{Rate}) = f/R$ ). Como se puede ver, la mayor parte de la energía de las señales NRZ están entre el valor de tensión continua (DC) y la mitad de la velocidad de transmisión. Por ejemplo, si un código NRZ genera una señal con una velocidad de transmisión a 9,6 Kbps, la mayor parte de la energía estará concentrada entre 0 y 4800 Hz.

Las mayores limitaciones de las señales NRZ son la presencia del componente de corriente continua y la falta de capacidad de sincronización. Grafiquemos este último problema: al tener una secuencia larga de dígitos **1** para un código NRZ-L o NRZ-S, se tiene a la salida un voltaje constante. En caso de corrimiento entre el transmisor y el receptor, éste no puede ser corregido basándonos solamente en la señal.

### 5.6.2. CÓDIGOS RETORNO A CERO (RZ)

Tienen las mismas propiedades de los códigos NRZ. En estos casos los pulsos de transmisión retornan a mitad de la duración del bit a nivel cero. La velocidad de modulación será el doble de la velocidad de transmisión. Estos códigos tienen los mismos problemas de presencia de componente de corriente continua (DC) y falta de capacidad de sincronización.

Para estudiar este código, primero veamos la distinción entre las velocidades de transmisión y de modulación. La velocidad de transmisión para todos estos códigos es de  $1/t_B$ , donde  $t_B$  es la duración del bit de la señal sin codificar. Sin embargo, en el código RZ, el elemento de señal de menor tamaño es el pulso para el **1** binario, el cual tiene la mitad de la longitud del intervalo de bit. De aquí, la velocidad máxima de modulación (conseguida por una secuencia de dígitos **1**) para señales RZ es de  $2/t_B$ . Por ejemplo, una señal con velocidad de transmisión de 9600 bps tiene una duración de bit  $t_B = 1/9600 = 104$  microsegundos. Su velocidad de modulación será de  $2/104 \times 10^{-6}$  segundos = 19200 Baudios.

El código RZ no proporciona mejoras sobre las técnicas NRZ. Más aún, debido a que su velocidad de modulación es mayor que la del código NRZ, su ancho de banda es mayor. Se mantienen los mismos problemas de componente de continua y falta de sincronización para una secuencia de dígitos **0**. Debido a su simplicidad, el RZ es usado por equipos simples de transmisión y grabación, pero no es la técnica preferible para comunicación de datos.

**5.6.3. CÓDIGOS BIFÁSICOS**

Entre los códigos bifásicos tenemos: bifásico-L (bifásico - nivel), bifásico-M, bifásico-S y Manchester diferencial. Estos esquemas intentan sobreponerse a las desventajas de las técnicas NRZ y RZ. Todos estos esquemas requieren de una transición por intervalo de bit por lo menos y pueden tener hasta dos transiciones. Así, duplican la velocidad de modulación del NRZ y, por consiguiente, aumentan el ancho de banda. Sin embargo, los esquemas bifásicos tienen varias ventajas:

- a) **Sincronización.**- Debido a que hay una transición predecible durante cada tiempo de bit, el receptor puede sincronizarse en cada una de ellas. En el Manchester y Manchester diferencial, siempre hay una transición en el medio del intervalo del bit. Por esta razón, estos códigos se conocen como autosincronizantes.
- b) **No componente de corriente continua.**- No tienen componente de corriente continua, lo cual permite obtener los beneficios descritos anteriormente.
- c) **Corrección de errores.**- La ausencia de una transición esperada se usa para detectar errores. El ruido en la línea tendría que haber invertido la señal, antes y después de la transición esperada para causar un error sin detección.

En la figura 5.5 se ve que la mayor parte de la energía de estos códigos está entre la mitad y media de la velocidad de transmisión, haciendo el ancho de banda lo razonablemente estrecho y sin componente de corriente continua. Nótese que todos los códigos, excepto el Manchester, son diferenciales. Son técnicas populares para la transmisión de datos y se usan comúnmente en grabaciones de cintas magnéticas y como señales de entrega para los sistemas de modulación en fibra óptica. Ambos, el Manchester y el Manchester diferencial, se usan en redes de área local.

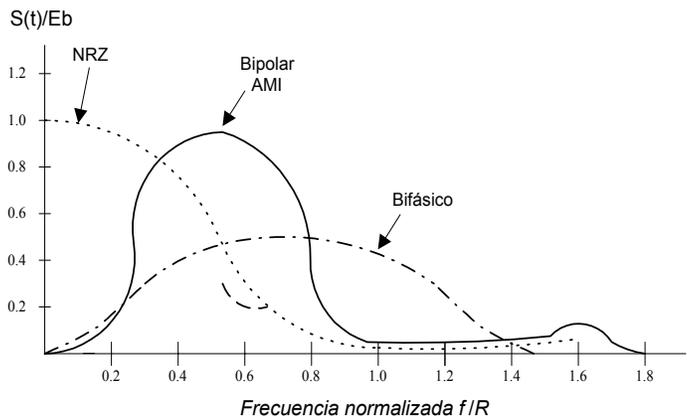
**5.6.4. CÓDIGOS MULTINIVEL - AMI, B6ZC, HDB3, 2B1Q**

Estas técnicas utilizan más de dos niveles de señal para representar los bits.

**5.6.5. CÓDIGO BIPOLAR AMI**

Este código multinivel bipolar conocido también como AMI (*Alternate Mark Inversion*), es usado por la BEI (USA) en sus portadoras T1 de sus enlaces PCM.

Como se puede ver en la figura 5.6, el código bipolar tiene su ancho de banda centrado en la mitad de la velocidad de transmisión con la ventaja de no tener componente de corriente continua y proporciona cierta capacidad



**Figura 5.6** Densidad espectral de los esquemas de codificación

de detectar errores, porque los dígitos **1** sucesivos deben tener signos opuestos.

Su desventaja es que no tiene capacidad de sincronización, lo cual se manifiesta cuando se transmite una secuencia larga de dígitos **0** (es decir, no hay transiciones). El problema se puede resolver mediante la prohibición de secuencias largas de dígitos **0** y, para ello se ha desarrollado algunos códigos bipolares con sustitución de N ceros, conocidos como códigos BNZS.

**5.6.6. CÓDIGO HDB3 ENLACES PCM - E1**

El código HDB3 (*High-Density Bipolar -3 zeros*) (figura 5.7), utilizado en los enlaces E1 (2.048 Mbps), está normado por el ITU-T. El número 3 indica que se sustituyen las formaciones binarias de más de 3 ceros consecutivos. Esta técnica opera así:

- Cada bloque de tres (o cuatro) ceros sucesivos se reemplaza por 00V (o por 000V respectivamente) o B0V (B00V).
- La elección de 00V o B0V (B00V) se hace de modo que el número de pulsos B entre pulsos V consecutivos sea impar.
- En otras palabras, los pulsos V sucesivos son de polaridad alternada, por lo que no se produce ningún componente de corriente continua.

1º bit (Polaridad)	2º bit (Magnitud)	Símbolo cuaternario	Nivel de voltaje
1	0	+3	+2,5 v
1	1	+1	+ 0,833 v
0	1	-1	- 0,833 v
0	0	-3	-2,5 v

Tabla 5.2 Niveles de señalización del código 2B1Q

**5.6.7. CÓDIGO 2B1Q (TWO BINARY – ONE QUATERNARY)**

Este es un código de cuatro niveles, que asocia un par de bits con un sólo símbolo cuaternario (quat) como se muestra en la tabla.5.2. El primer bit de cada par representa la polaridad, de l símbolo cuaternario mientras que el segundo bit su magnitud. En la figura 5.7 da un ejemplo.

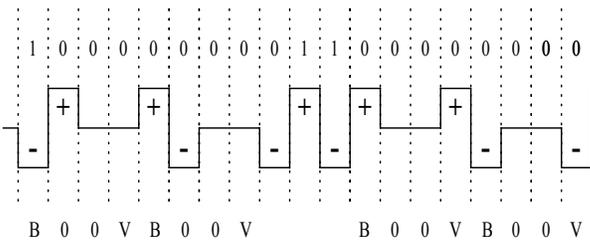


Figura 5.7 Código HDB3 B = normal o polaridad invertida V = violación de la regla

**5.7. SOLUCIONES BASADAS EN COBRE**

La tecnología DSL (*Digital Subscriber Line*) permite la transmisión digital a alta velocidad sobre los lazos de abonado de líneas telefónicas convencionales. Su desarrollo se justifica por:

- La gran inversión realizada en el acceso (superior al 50% del coste total de un par telefónico).
- El gran coste del despliegue de las fi-

bras ópticas hasta los hogares.

- Los 700 millones de líneas telefónicas instaladas en todo el mundo.

Existen muchas posibles soluciones a los problemas de sobrecarga de la red telefónica pública con datos paquetizados y servicios interactivos de banda ancha. Algunas de estas soluciones consisten en construir sistemas completamente nuevos basados completamente en redes inalámbricas o satelitales, lo cual no es incorrecto. Sin embargo, sería mejor empezar con algo que ya existe y construir sobre esto y/o mejorar las características operaciones del lazo local analógico basado en cobre. Una solución más realista y efectiva en costo puede ser la siguiente:

- Maximizar la reutilización de los lazos analógicos locales de cobre.
- Incluir alguna previsión de compatibilidad con el teléfono analógico existente.

Por ahora sólo las soluciones basadas en cobre satisfacen estos dos criterios.

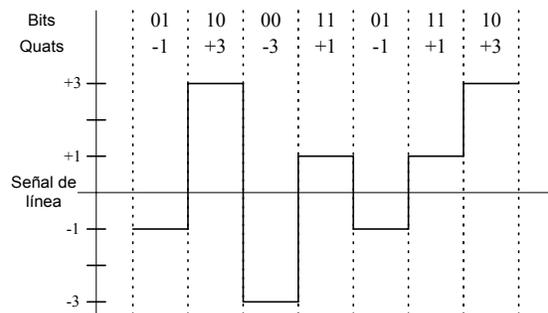


Figura 5.8 Ejemplo de código 2B1Q

La tecnología DSL (*Digital Subscriber Line* - DSL) empezó con la red digital de servicios integrados (RDSI). Esta red se implementó para alcanzar la total digitalización de extremo a extremo de la red de telefonía básica (RTB), es decir, desde el dispositivo del usuario (microteléfono, computador personal, etc.) al módulo de usuario en la central telefónica. La RDSI fue el primer servicio DSL y su posición como el primer DSL no se debe olvidar ni minimizar. Muchas de las características avanzadas del ADSL fueron posibles sólo gracias a la experiencia lograda con los métodos de la RDSI.

La familia xDSL es llamada línea digital de abonado tipo x (*x-type Digital Subscriber Line*), donde la x representa a una de varias letras del alfabeto. Es importante notar que algunas de estas tecnologías están basadas en los módems. Es decir, algunos miembros de la familia xDSL usan métodos de modulación analógica para transportar información digital o analógica a través de la línea de acceso de abonado o lazo local de cobre, es decir que tienen mucho en común con las tecnologías de módem. Otros miembros de la familia xDSL usan arreglos de la tecnología CSU/DSU. Estos usan verdadera señalización digital para transportar información de contenido digital (raras veces información analógica) por la línea de acceso local. Ellos tienen mucho en común con los portadores E1. Pero el aspecto común de la familia xDSL es que se trata de un conjunto de soluciones basadas en cobre.

Los sistemas DSL deben tener una tasa de errores de bits entre  $10^{-7}$  a  $10^{-9}$  con un margen de 6 dB en la relación señal a ruido (S/N) en el peor caso (intermodulación). La velocidad de transmisión disminuye con la distancia y depende fuertemente del grado de diafonía (acoplamiento entre pares). La diafonía es producida por fuentes de ruido localizadas en el mismo extremo del cable que el receptor NEXT (*Near End Crosstalk*) o por fuentes de ruido localizadas en el otro extremo del cable FEXT (*Far-End Crosstalk*). A continuación los definimos con más detalle.

- **Diafonía del extremo cercano** (*Near-End crosstalk* - NEXT).- Es la perturbación en un sistema de transmisión procedente de otro sistema de transmisión que está situado en el mismo emplazamiento y que usa energía de transmisión en la misma banda de frecuencia que el receptor. Por ejemplo, los sistemas HDSL (que transmiten y reciben en la banda de frecuencia de 0 a 500 kHz) instalados en el mismo mazo de cables se perturban uno a otro. Esto es, la señal de transmisión de HDSL procedente del sistema A perturba al receptor del sistema B.
- **Diafonía del extremo lejano** (*Far-End crosstalk* - FEXT).- Es la perturbación en un sistema de transmisión causada por las señales de otro sistema similar en el lado alejado del lazo de abonado. Por ejemplo, un transmisor HDSL en la oficina central perturba a un receptor ADSL en los locales del suscriptor. Por definición, FEXT es más propenso a perturbar que NEXT.

En una comunicación asimétrica DSL las velocidades de transmisión varían entre 500 Kbps y 50 Mbps para distancias de 300 metros y 5.5 kilómetros. Para comunicaciones simétricas se tienen 100 Kbps a 22 Mbps para las mismas distancias.

Los antecesores de la tecnología DSL fueron los enlaces troncales E1 (2.048 Mbps) y T1 (1.544 Mbps) los que permiten una comunicación *full duplex* sobre dos pares, utilizando códigos de línea HDB3 y AMI, con pérdidas hasta de 40 dB a 2 kilómetros.

### 5.7.1. LAS TECNOLOGÍAS XDSL

En la tabla 5.3 (de la siguiente página) se presentan las principales características de la familia de tecnologías del tipo xDSL. Trataremos todas las velocidades xDSL y sus límites de distancia con cuidado, considerando los parámetros de diseño, que no son reglas tan sencillas ni tan complejas. Los vendedores siempre están empujando el xDSL, de tal manera que en la actualidad es posible encontrar HDSL basados en modulación discreta multitono (*Discrete MultiTone modulation* – DMT), ADSL que trabaja a 1.5 Mbps en *full duplex* con un alcance de 5400 metros (18000 pies) y DSL simétrico con soporte analógico vía divisores (*splitters*).

### 5.7.2. DSL DE ALTA VELOCIDAD – HDSL / HDSL2

El HDSL opera a 1.544 Mbps (T1) en EE.UU. y a 2.048 Mbps (E1) en otras partes del mundo. Su ancho de banda es de 80 a 250 KHz, dependiendo de la técnica usada. Ambas versiones son simétricas, es decir, transmiten a la misma velocidad en ambas direcciones. El HDSL original a 1.544 Mbps usaba 2 pares de hilos y llegaba hasta 4500 metros (15000 pies). El HDSL de 2.048 Mbps requiere 3 pares de hilos para alcanzar esta distancia.

La última versión de HDSL conocida como HDSL2 emplea sólo un par de hilos y se espera que esté normalizada para lograr la interoperatividad de los equipos de los vendedores.

Nombre	Significado	Velocidad	Modo	Comentario
<b>HDSL/ HDSL2</b>	DSL de alta velocidad	1544 Mbps	Simétrico, duplex	Usa 2 pares
<b>HDSL/ HDSL2</b>	DSL de alta velocidad	2048 Mbps	Simétrico Duplex	HDSL2 usa un par
<b>SDSL</b>	DSL de una sola línea	768 Kbps	Simétrico, duplex	Usa un solo par
<b>ADSL</b>	DSL asimétrico	1,5 a 8 Mbps 16 a 640 Kbps	Hacia usuario Desde usuario	Usa un solo par. 5425 m (18.000') máximo. Acceso a Internet, video en demanda, video simplex, acceso remoto LAN, multimedia interactivo
<b>RADSL</b>	DSL de velocidad adaptativa	1,5 a 8 Mbps 16 a 640 Kbps	Hacia usuario Desde usuario	Usa un solo par. Adapta velocidad a condiciones de línea
<b>CDSL</b>	DSL de consumidor	Hasta 1 Mbps 16 a 128 Kbps	Hacia usuario Desde usuario	Usa un solo par y no requiere equipo remoto en usuario
<b>VDSL</b>	DSL de muy alta velocidad	13 a 52 Mbps 1,5 a 6 Mbps	Hacia usuario Desde usuario	Igual que ADSL ATM y HDTV. Requiere alimentador de fibra

**Tabla 5.3** La familia xDSL

### 5.7.3. DSL SIMÉTRICO – SDSL

Si el objetivo de la tecnología xDSL es reutilizar los lazos analógicos locales, entonces tal vez es mejor emplear un solo par de hilos tal como son los pares telefónicos. SDSL usa sólo un par pero sólo llega a 3000 metros (10000 pies), al menos así lo indican sus especificaciones de diseño. Sin embargo, sus velocidades son las mismas que el HDSL. SDSL está típicamente preparado para trabajar a 768 Kbps usando un solo par. Parece probable que el HDSL2 hará todo lo que hace el HDSL y aún más se espera que el SDSL sea canibalizado por el HDSL2, por lo cual no ampliaremos más sobre esta técnica.

### 5.7.4. DSL ASIMÉTRICO – ADSL

El DSL usa sólo un par de hilos pero para soportar velocidades en servicio *duplex* tiene que limitar su distancia. El ADSL (*Asymetrical Digital Subscriber Line*) es de naturaleza asimétrica, lo cual satisface a la naturaleza de muchos servicios de banda ancha y al mismo tiempo extiende su alcance hasta 5400 metros (18.000 pies). Esta técnica será desarrollada en detalle más adelante, por ser la más relevante.

### 5.7.5. DSL DE VELOCIDAD ADAPTATIVA – RADSL

Típicamente se asume que cuando se instala un equipo se debe cumplir con algún criterio mínimo de acondicionamiento de línea para lograr su operación a una velocidad determinada. Esto es cierto para tecnologías digitales anteriores tales como los portadores E1 y la RDSI.

Sin embargo, los cambios de ambiente y del clima pueden cambiar las condiciones de la línea y, por consiguiente, variarán las velocidades de operación del equipo. RADSL usa una codificación de multitono discreto (DMT), que se puede adaptar a condiciones de línea cambiantes y ajustar las velocidades operacionales a fin de maximizar la velocidad de cada línea individual.

### 5.7.6. DSL DE CONSUMIDOR – CDSL

Aunque está muy relacionado al ADSL y al RADSL, el CDSL es diferente para justificar su existencia. El CDSL es más modesto en cuanto a su velocidad y la distancia que cubre, pero tiene una gran ventaja. Con el CDSL no es necesario preocuparse con dispositivos remotos tales como divisores instalados en el local del cliente.

La función del divisor en esta situación es permitir que los teléfonos analógicos actuales y otros tipos de equipos tales como máquinas telefax grupo 3 continúen operando como lo hacían antes. El divisor requerido por el ADSL y RADSL se presenta en detalle más adelante. La ventaja del CDSL es que no necesita divisor remoto ni el cableado asociado.

**5.7.7. DSL DE MUY ALTA VELOCIDAD – VDSL**

Este nuevo miembro de la familia es visto como el último objetivo de la tecnología DSL. Las velocidades son las más altas posibles, pero sólo a distancias entre 300 y 1350 metros (1000 y 4500 pies) sobre un par de cobre. Esto no es un problema para el VDSL, pues espera encontrar un alimentador de fibra dentro de esta distancia y así estará preparado para transportar celdas ATM.

**5.8. TECNOLOGÍAS HDSL, ADSL Y VDSL EN DETALLE**

A continuación explicamos las tecnologías xDSL de mayor impacto en el mercado.

- **HDSL** (*High bit rate DSL*)
- **ADSL** (*Asymmetric DSL*)
- **VDSL** (*Very-high bit rate DSL*)

**5.9. HDSL**

La tecnología HDSL se desarrolló a fines de los años 80 y fue introducida comercialmente por Bell Canadá en 1992. HDSL es un sustituto de los sistemas E1/T1.

Su energía está confinada en un ancho de banda más estrecho provocando menos diafonía e intermodulaciones que las E1/T1. Transmite flujos primarios a distancias de 3,7 km sobre pares de cobre (24 AWG, 1/24”) sin repetidores y puede alcanzar distancias hasta 11 km con dos repetidores. HDSL se basa en las normas G.991.1 del ITU y TM-03036 de la ANSI.

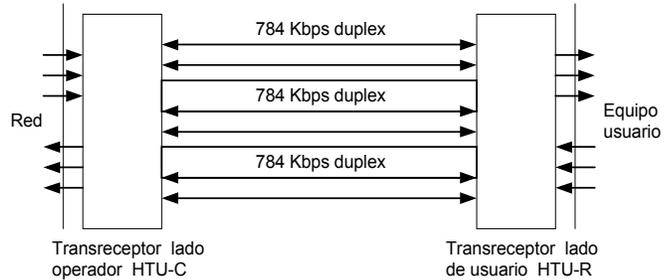


Figura 5.8 Interconexión de dos transreceptores HDSL

**5.9.1. MODOS DE OPERACIÓN HDSL**

El HDSL tiene tres modos de operación: duplex único, simplex dual y duplex dual.

- a) **Duplex único.**- Utiliza un solo par de cobre. Las bandas se separan mediante técnicas de cancelación de eco o FDM. Soporta velocidades de transmisión hasta 1,544 Mbps a 1800 metros en un par 26 AWG.
- b) **Dual simplex.**- Utiliza dos pares de cobre, cada uno de los cuales transmite en una sola dirección. Provoca diafonías en altas frecuencias.
- c) **Dual duplex.**- Es el más utilizado. El ancho de banda del canal se utiliza tanto para el canal ascendente como descendente. HDSL utiliza dos o tres pares de cobre. Cada uno de ellos puede transmitir a 768 Kbps datos más 16 Kbps de control, con una tasa de bits errados que varía entre  $10^{-7}$  y  $10^{-9}$ . Para una velocidad de transmisión de 2,048 Mbps se requieren tres pares de cobre y dos para 1,544 Mbps. En la figura 5.8 se muestra este arreglo.

**5.9.2. TIPOS DE MODULACIÓN HDSL**

HDSL utiliza diversos tipos de modulaciones y medios:

- Código de línea 2B/1Q con un cancelador de eco para el sistema duplex dual. Esta modulación es la más usada.
- Modulación multitono discreta (DMT).
- También utiliza pares trenzados de categoría 5 (ATM25 y DAVIC).

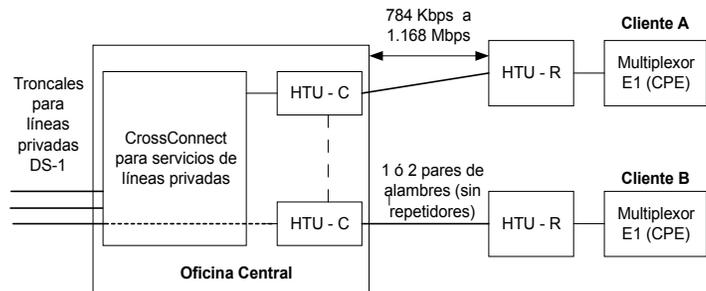


Figura 5.9 Arquitectura del HDSL

En la figura 5.9 se presenta un sistema HDSL típico para proveer líneas de servicio privado tipo DS-1 a velocidades de 1,544 Mbps. Antes de HDSL esto requería el uso de dos pares de hilos y

de repetidores cada 1800 metros (6000 pies). Con el HDSL si un proveedor de servicio compra dos unidades terminales HTU (*HDSL Termination Unit*), ambas deben ser del mismo fabricante debido a que la interoperatividad entre diferentes marcas aún no está garantizada hasta antes de la última versión del HDSL conocida como HDSL2.

Las dos unidades terminales HTU, una en la oficina del proveedor de servicio (HTU-C) y la otra (HTU-R, que es la unidad remota) se coloca lo más cerca de las instalaciones del cliente. Las líneas del HTU-C se conectan a un equipo de interconexión digital (*crossconnect*) a fin de proveer servicio E1 canalizado o no canalizado. La HTU-C se compone de una serie de unidades montadas en bastidor, colocadas cerca del centro alámbrico de la oficina central o del distribuidor principal (MDF).

La unidad HTU-R se conecta con la unidad HTU-C sobre un par de hilos en la mayoría de casos. Más allá de cierta distancia la cual varía de vendedor a vendedor, se podría requerir dos pares adicionales. Aún así, la ventaja del HDSL es que no requiere repetidores. Los nuevos equipos HTU proveen velocidades de 2.048 Mbps (E1) sobre dos pares o más aún sobre un par en distancias muy limitadas en algunos casos.

El HTU-R es un equipo más del proveedor de servicio que del cliente. Desde el HTU-R del usuario se requieren dos pares de hilos. El equipo del usuario es un equipo común y relativamente económico tal como un multiplexor E1 (técnicamente el CSU es el punto terminal de un enlace HDSL). La interface de dos pares hacia el cliente todavía es retenida principalmente por la compatibilidad de respaldo en caso de avería. Los actuales HTU-R no están lo suficientemente normalizados para permitir a los clientes comprar cualquier marca de equipo y esperar que éste trabaje con el equipo HTU-C del proveedor de servicio, a menos que los dos HTU sean del mismo vendedor. Esto cambiará con el HDSL2, pero actualmente ésta es la situación.

La principal ventaja del HDSL es que permite al proveedor de servicio brindar enlaces E1 de manera más rápida y efectiva en costo. Nótese que el HDSL no puede atravesar una central de telefonía básica. El HDSL es sólo una solución de línea privada punto a punto. El otro extremo de un enlace HDSL es otra línea de acceso usada para servicio de línea privada. Esta línea de acceso podría ser una E1 real o en muchos casos otro enlace HDSL. Éste es todavía un servicio de línea dedicada y no un servicio conmutado. Las HDSL HTU-C y HTU-R no son módems, ellos son propiamente arreglos DSU, los de una línea T1 (EE.UU.), a la cual el HDSL básicamente emula. No hay señales analógicas sobre la línea digital usando código 2B1Q, de allí que el lazo local usado por HDSL no pueda usarse con teléfonos analógicos a la vez (excepto arreglos raros HTU).

No se ha previsto en el HDSL la compatibilidad con los actuales teléfonos analógicos. Se presume que una unidad especial de codificación digital será anexada a estos teléfonos de tal manera que ellos puedan utilizar uno de los canales digitales de 64 Kbps. Otra alternativa es colocar una pequeña central privada con salida digital.

Algunas veces, en especial recientemente, una versión de HDSL de 784 Kbps que corre sobre un solo par ha usado su menor velocidad, algunas veces llamado SDSL o también DSL de velocidad media (*Medium speed DSL – MDSL*) por varios vendedores, el cual tiene un alcance de 6600 metros (22.000 pies). Las distancias de cobertura del HDSL están mejorando en los nuevos productos. Todo esto podría cambiar, sin embargo, con la introducción y establecimiento de las normas del HDSL2.

Sus aplicaciones típicas incluyen redes PBX, estaciones de telefonía celular, sistemas de portadoras de enlaces digitales, servidores de Internet y redes privadas de datos.

### 5.9.3. HDSL2

El desarrollo de HDSL2 se inició en 1995. Utiliza un solo par de cobre con las mismas prestaciones (velocidad de transmisión y distancia) que el modo dual duplex HDSL y puede llegar a 2,7 kilómetros con un par de calibre 26 AWG y a 3.6 kilómetros con un par 24 AWG.

HDSL2 se basa un esquema denominado cancelador de eco parcialmente solapado (POET) para transmitir las dos bandas (T1.E1.4/97-073). Aproximadamente, el ancho de banda del canal descendente es de 400 KHz y del canal ascendente es de 250 KHz. La segunda generación HDSL2 se basa en la normativa G. 991.2.

El transceptor HDSL2 reduce la interferencia a través de un desplazamiento de frecuen-

cia entre los canales de subida y bajada. El transmisor se construye con PAM y modulación codificada (código de Trellis unidimensional de tasa 1/2). Utiliza la precodificación Tomlinson/ Harashima y ecualizadores fraccionales. HDSL2 transmite al doble de potencia que el HDSL.

**5.10. DSL ASIMÉTRICO - ADSL**

La tecnología ADSL suministra conectividad entre el usuario y el operador a través del par de cobre, utilizando un conjunto de funcionalidades de nivel físico.

**5.10.1. NORMATIVIDAD**

ADSL fue propuesto por Bellcore en 1989 y desarrollado por la Universidad de Stanford y ATT en 1990. Las primeras pruebas de campo se realizaron en 1995. Sus normas son la G.922.1 (ex G.DMT) del ITU-T y T1.413 de la ANSI, las cuales son equivalentes pero difieren en la secuencia de inicialización. ANSI propone tonos; mientras que la ITU, mensajes. El mecanismo de iniciación entre módems está normado por la recomendación G.994.1 y las operaciones de administración, operación y mantenimiento por la G.997.1.

**5.10.1.1. NORMAS ADSL DE LA ANSI**

- **ANSI, T1.413 - 1995 - 1998.**- Interfaces de Instalación de Red y Cliente - Interface Metálica de Línea Digital Asimétrica de Suscriptor (*Asymetrical Digital Subscriber Line - ADSL*). Ésta es la especificación original.
- **ETSI, ETR - 328.**- Línea Digital Asimétrica de usuario (*Asymetrical Digital Subscriber Line - ADSL*). Normaliza los requisitos y desempeño del ADSL. Especifica las redes y fuentes de ruido europeas. Para la tecnología de transmisión se remite a la norma americana T1.413.

**5.10.1.2. RECOMENDACIONES ITU-T PARA ADSL**

Estas normas fueron emitidas en octubre de 1998 y son las siguientes:

- **G.992.1** (por ejemplo: G.DMT).- Transceptores de Línea Digital Asimétrica de usuario (*Asymetrical Digital Subscriber Line - ADSL*).
- **G.992.2** (G.Lite) .- Transceptores de Línea Digital Asimétrica de usuario.
- **G.994.1** (G.hs).- Procedimientos de Protocolo de Enlace para Transceptores de Línea Digital de usuario.
- **G.995.1** (G.ref).- Visión de conjunto de Transceptores de Línea Digital de usuario.
- **G.996.1** (G.test).- Procedimientos de prueba para transceptores de línea digital de usuario.
- **G.997.1** (G.ploam).- Administración de Capa física para Transceptores de Línea Digital de usuario.

**5.10.2. TECNOLOGÍAS DE TRANSMISIÓN DEL ADSL**

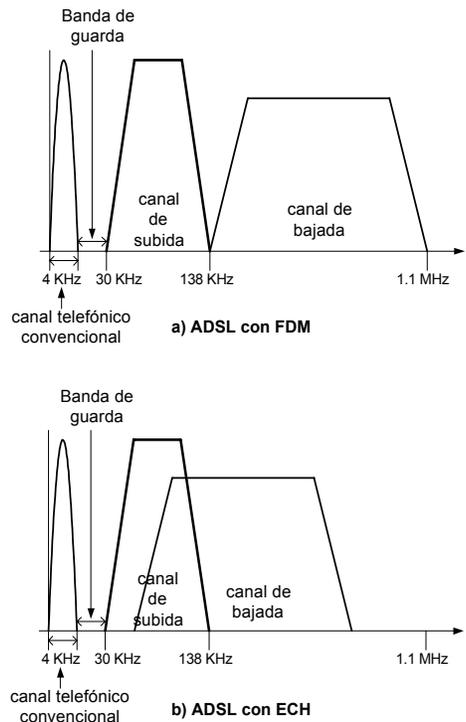
El ADSL usa tres tecnologías: FDM, canceladores de eco híbridos (ECH) y ecualización adaptativa.

**5.10.2.1. MECANISMO FDM**

(*Frequency Division Multiplexing*) Reduce las interferencias entre los canales de subida y bajada mejorando la calidad del canal de subida.

**5.10.2.2. ECUALIZACIÓN ADAPTATIVA**

Mejora la respuesta del ancho de banda del canal haciéndolo más lineal.



**Figura 5.10** Tecnologías de transmisión del ADSL

### 5.10.2.3. CANCELADORES DE ECO HÍBRIDOS (ECH)

Emplean un mayor ancho de banda en el canal de bajada, obteniendo más ventajas pero aumentan la complejidad del sistema.

### 5.10.3. CORRECCIÓN DE ERRORES

La corrección de errores hacia delante (FEC) y el entrelazado reducen el ruido impulsivo. Se aplica este proceso porque los pulsos de interferencia cortos se acoplan a la línea en la red de acceso y en los locales del cliente. En configuraciones sin divisor, la corriente de llamada y el salto de la misma son la fuente de los pulsos perturbadores principales. La corrección de errores hacia delante (*Forward Error Correction* – FEC, Reed - Solomon) y el entrelazado permiten al módem corregir los errores de bits causados por estas perturbaciones. El entrelazado, que es una función normalizada en las configuraciones sin divisor, esparce las ráfagas de errores, permitiendo a la función FEC corregirlos uno por uno, pero si hay demasiados errores, no podrá corregirlos todos.

### 5.10.4. MODULACIÓN

ADSL se basa en norma T1.413 DMT y emplea una modulación adaptativa multiportadora, denominada multitono discreto (*Discrete MultiTone* - DMT) con 256 tonos a 15 bits por tono. Pero las transmisiones ADSL contienen más que “sólo” DMT. La figura 5.11 muestra esta modulación. El ancho de banda se divide en N sub-bandas (tonos) donde la energía total debe ser plana en función de la frecuencia. En cada sub-banda la potencia de ruido más la potencia de señal es constante por lo cual se requiere calcular la potencia de ruido en cada una de ellas para asignar la potencia de la señal a cada tono.

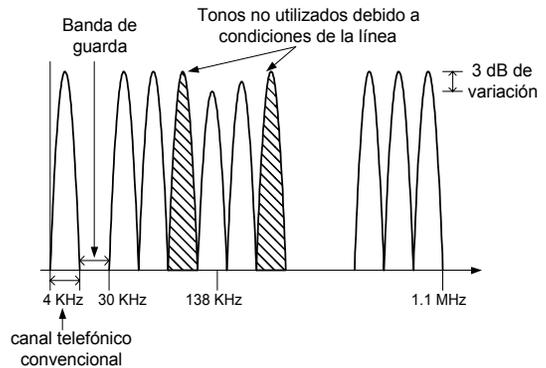


Figura 5.11 Modulación multitono discreto (DMT)

### 5.10.5. ASIGNACIÓN DE FRECUENCIA

La “A” de ADSL significa asimétrico, es decir que el servicio, así como el ancho de banda, han sido especificados para que no sean simétricos. Los servicios simétricos, tales como ISDN y HDSL, están limitados en la distancia por la diafonía del extremo cercano (*Near-End crosstalk* - NEXT). En teoría, ADSL está limitado por la diafonía del extremo lejano (*Far-End crosstalk* - FEXT), y por lo tanto debería llegar a distancias más largas de transmisión, siempre y cuando no haya otros servicios presentes que interfieran con ADSL. Las frecuencias para el tráfico ascendente pueden ser también usadas para el tráfico descendente, dado que los módems emplean la cancelación de eco (*Echo Cancellation* - EC). Hoy en día, la mayor parte de las implementaciones usan la cancelación de eco, a fin de tener la flexibilidad del tráfico en doble sentido. Pero la cancelación de eco puede ser usada también en conjunto con la multiplexación por división de frecuencia (*Frequency Division Multiplexing* - FDM) obteniéndose espectros no solapados.

La técnica de modulación DMT divide la banda de transmisión en portadoras o sub-bandas más pequeñas. Cada portadora es independiente de las otras portadoras. La banda completa analógica de ADSL es 0 a 1,104 MHz y se divide en 256 portadoras (4,3125 KHz cada una). Las portadoras 0 a 5 están reservadas para telefonía básica. Las portadoras 0 a 31 están reservadas para ISDN, cuando ADSL se suministra junto con este tipo de servicio. ADSL Lite no está especificado en la actualidad para ser usado con la RDSI.

### 5.10.6. TRAMADO

Al igual que con todos los sistemas de transmisión, ADSL emplea la técnica de tramas llamada tramado. Una trama se define como un símbolo DMT (proceso de transformada inversa de Fourier rápida/transformada de Fourier rápida - IFFT/FFT). Una supertrama se compone de 68 tramas y cada trama de la supertrama contiene una palabra de sincronización (1 octeto). Las palabras de sincronización identifican los límites de la trama y se sirven para la recuperación de los microcor-

tes en la línea. También contienen cabeceras para la operación, administración y mantenimiento (OA&M) en tiempo real y en tiempo no real.

### 5.10.7. PROTOCOLO DE ENLACE

Para proporcionar un medio de implementar equipos en modo dual, la ITU-T ha definido el protocolo de enlace (norma G.994.1) para intercambio de capacidades entre el módem y la tarjeta de línea antes de la inicialización. El esquema incluye un mecanismo de escape para volver a caer al antiguo proceso de arranque de la ANSI basado en tonos, en caso de que fallase en protocolo de enlace. La información intercambiada con este protocolo de enlace incluye la identificación (ID) del vendedor e información no normalizada empleada para funciones propietarias.

### 5.10.8. CAPAS SUPERIORES

El protocolo de transporte normado para ADSL Lite es el ATM, también señalado para el ADSL de velocidad completa, como es una aplicación STM. ADSL Lite transporta esencialmente servicios IP conforme al Forum ADSL donde el protocolo punto a punto (PPP) se transporta en ATM, que a su vez se transmite sobre el protocolo ADSL en la interfaz U (*ADSL Forum TR-012*).

El ADSL Lite o Universal ADSL es una versión simplificada de ADSL que maneja menos tonos, no tiene divisor, ni cancelador de eco y emplea un mecanismo rápido de reintento. Se basa en los estudios realizados por el grupo de trabajo UAWG (*Universal ADSL Working Group*). El ITU-T tiene el borrador G.992.2 (ex G.lite).

El comportamiento dinámico de ADSL, en particular el de ADSL Lite, es nuevo en las redes de telecomunicaciones. Los drásticos cambios de velocidad en un entorno sin divisor hacen difícil para los operadores proporcionar cualquier otra cosa que no sea servicio de velocidad de bits sin especificar (*Unspecified Bit-Rate - UBR*).

Aunque la clase de tráfico UBR es adecuada a ADSL Lite, para mejorar el desempeño de ATM e IP para UBR con anchos de banda cambiantes se recomiendan algunas funciones de administración de tráfico. Una pura terminación de red de banda ancha (*Broadband Network Termination - BNTI*), cuya única función es el desacoplamiento de la velocidad de célula, requiere que el terminal dé forma al tráfico ATM en tráfico de pico de velocidad de celda (*Peak Cell Rate - PCR*), el cual cambia rápidamente en la capa física. Sin embargo, para este fin, aún se espera un método rápido para informar al terminal de los cambios de velocidad. Hasta que se desarrollen los protocolos necesarios, las terminaciones de la red tienen que ser inteligentes, usar memorias tampón del tipo de descarte de paquete anticipado (*Early Packet Discard - EPD*) y con capacidad de descarte de paquete parcial (*Partial Packet Discard - PPD*).

Los sistemas ATM unidos a los módems ADSL Lite introducen nuevos mecanismos de filtrado para errores, temporizadores, y así sucesivamente. Por ejemplo:

- Si hay un corte de tres segundos en las llamadas o sesiones no deben perderse los datos,
- Durante el apagado de la alimentación, el computador debe permanecer conectado a la red, listo para encenderse para llamadas de IP entrantes.
- Los mecanismos de señalización “*keep-alive*” (mantener vivo) y el control de sesión PPP tienen que ser modificados, filtrados o administrados por el nodo de acceso.

### 5.10.9. CANALES ADSL DESCENDENTE Y ASCENDENTE

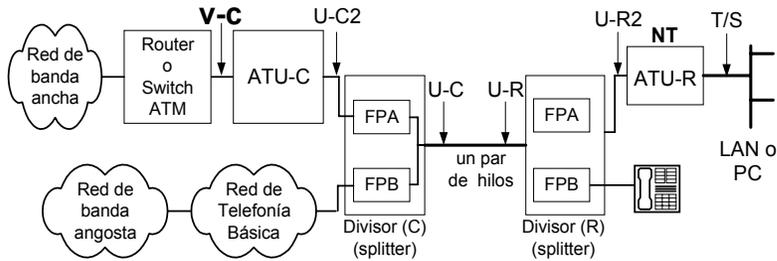
El ADSL ofrece canales descendentes de datos y canales ascendentes de velocidad máxima de transmisión de 6 Mbps y canales ascendentes cuya suma llega hasta 640 Kbps. Incluye el servicio de telefonía analógica sobre la banda baja (300-3400KHz). Los canales ascendentes y descendentes son asimétricos y ocupan la banda alta del espectro.

### 5.10.10. MODELO DE REFERENCIA ADSL

El ADSL (*Asymmetrical DSL*) trata de superar las limitaciones del HDSL y HDSL2, así como las variaciones impuestas sobre los nuevos lazos locales digitalizados. Desde 1972 las compañías telefónicas se esforzaron por entregar servicios de video digital para el hogar. Se evaluaron muchas tecnologías y ADSL fue la promesa para entregar estos servicios sobre el mismo lazo por la voz analógica. De esta manera, el ADSL podría formar la base de los servicios de video sobre demanda. El servicio de video requiere grandes cantidades de información que debe ser descargada

hacia el hogar, sin embargo, no es necesario un gran ancho de banda saliendo del hogar hacia arriba. Los comandos para iniciar, parar o avanzar rápidamente una cinta o congelar una imagen de video requieren pocos paquetes para su transmisión.

También se descubrió que muchas actividades del hogar seguían este modelo simétrico. El acceso a servidores Web, acciones normales tipo cliente servidor y aún las compras desde el hogar son inherentemente asimétricas. Cualquier técnica DSL que soporte gran ancho de banda en una dirección y pequeño ancho de banda en la otra es, por definición un DSL asimétrico. Por un momento pareció que ADSL era la plataforma para una variedad de técnicas xDSL asimétricas, incluyendo el RADSL y el VDSL. Sin embargo, la tecnología ha desarrollado un enfoque más específico e individual para cada xDSL. La figura 5.12 muestra el modelo de referencia de ADSL, en el cual se comparan dos características distinguidas del ADSL respecto a los otros xDSL. El divisor (*splitter*) es un dispositivo que se coloca entre la central y las instalaciones del usuario con una doble función:



ATU-C: Unidad de transmisión ADSL lado operador (ADSL Transmission Unit-Central office)  
 ATU-R: Unidad de transmisión ADSL lado usuario (ADSL Transmission Unit-Remote)  
 FPA: Filtro pasa alto (pasa canales de datos ADSL)  
 FPB: Filtro pasa bajo (pasa canal de telefonía convencional)

**Figura 5.12** La arquitectura ADSL en general

1. El divisor permite al teléfono analógico existente y otros equipos, tales como el telefax, seguir operando como antes en las instalaciones del usuario.

2. El divisor permite que el tráfico de datos de larga duración sea reenrutado alrededor de la central de telefonía pública (la cual transporta la voz en sus troncales) sobre un *router* IP o una red de ATM (donde este tráfico se transporta en paquetes). Esto alivia la presión sobre la red telefónica pública y reduce los costos del usuario debido a que no se requiere equipos complejos o tener una interface con adaptadores especiales (tal como HDSL y otros). Los *routers* y las *switches* ATM transportan tráfico de los servidores localizados en Internet o en una intranet corporativa, aunque muchas otras variaciones se tienen proyectadas.

El ADSL es asimétrico, su velocidad de bajada (*downstream*) es mucho mayor que la velocidad de subida (*upstream*). Los módems de ADSL transportan datos entre las interfaces V y T a través del bucle de abonado (interfaces U). Los divisores C y R tienen la misión de separar la señal de telefonía de la de datos, para ello se utilizan los filtros paso alto (FPA) y paso bajo (FPB).

La normatividad del ADSL continúa evolucionando en la actualidad, por lo cual no es conveniente por ahora mostrar detalles que aún no han sido aprobados como normas.

### 5.11. DSL DE MUY ALTA VELOCIDAD: VDSL

La tecnología DSL de muy alta velocidad (*Very High Speed DSL - VDSL*) es un esfuerzo para atender tres aspectos con respecto al servicio de banda ancha en lazo local.

- Las compañías de teléfonos están empleando cada vez más alimentadores de fibra como ahorradores de pares y sistemas portadores de lazo local. Es usual que un vecino especialmente en complejos de condominios sea servido con alimentadores de fibra y con lazos locales de cobre que distribuyan unos miles de pies hacia el hogar.
- Los servicios que las compañías de teléfonos y otras empresas desean proveer parecen que requieren más y más ancho de banda año tras año.
- Conforme los sistemas xDSL evolucionen para incluir más mezclas de tráfico de voz, data y video, todos en uno, algunas instalaciones para transporte de celdas ATM pueden ser deseables porque el ATM combina fácilmente a los servicios de voz, video y datos en la misma red

física. Si bien es cierto que el ADSL está orientado hacia las redes ATM pero también puede transportar tráfico IP, en cambio VDSL estará dedicado virtualmente para las redes ATM. VDSL permite velocidades de hasta 52 Mbps en el canal de bajada a distancias que van de 300 a 1600 metros. Es una tecnología que complementa a la FTTC (*Fiber to the Curb*).

**5.11.1. NORMATIVIDAD**

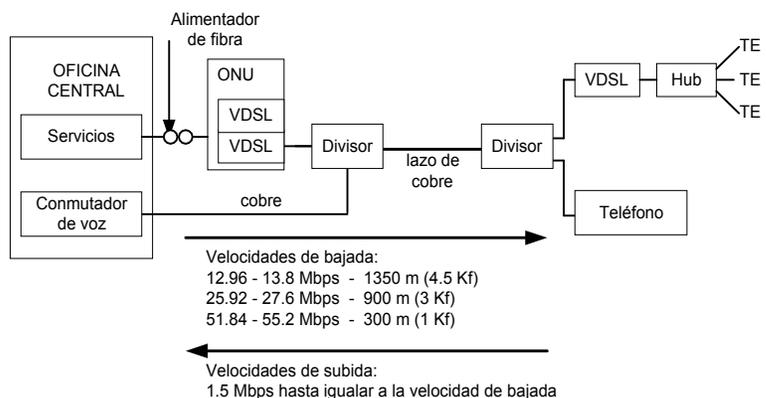
El desarrollo de VDSL se inició en 1995 bajo ETSI (TM6) y ANSI (T1E 1.4) y sus recomendaciones aún no están finalizadas. La especificación de VDSL de DAVIC (Digital Audio-Video Council) emplea una modulación CAP con unas velocidades de transmisión del canal de bajada de 13, 25.92 y 51 Mbps y de 1.6 Mbps en el canal de subida. Esta norma propone una arquitectura de terminación de red pasiva. VDSL forma parte de un sistema integral de comunicaciones que puede dar soporte a cualquier tipo de aplicación de audio, vídeo y datos y es un componente de la red de servicio completo (Full Service Network - FSN). VDSL mantiene velocidades de transmisión asimétricas y simétricas

**5.11.2. CONFIGURACIÓN DE UN ENLACE VDSL**

En la figura 5.13 mostramos cómo los conceptos básicos del VDSL atienden estos tres aspectos:

- El VDSL incluye una unidad para la red óptica para convertir y concentrar las señales VDSL dentro del sistema alimentador de fibra, el cual podría ser parte de los sistemas portadores de lazo digital (*Digital Loop Carrier - DLC*) de próxima generación, también llamados portadores de lazo digital de nueva generación (*New Generation Digital Loop Carrier - NGDLC*). Estos sistemas se distinguen por tener una inteligencia distribuida y enlaces hacia configuraciones de fibra óptica con jerarquía SONET o SDH, en lugar de enlaces digitales y un fácil acceso a los servicios de banda ancha de la oficina central.
- Los anchos de banda de bajada son mucho mayores que aquellos definidos por el ADSL. Se logra velocidades de alrededor de 13 Mbps a 1350 metros (4500 pies) y a 300 metros (1000 pies) se soportarán 50 Mbps. En la velocidad de subida el VDSL ofrece un mínimo de 1,5 Mbps y podrían aún desarrollarse configuraciones simétricas.
- El VDSL está preparado para transportar celdas ATM, es decir formará la capa física de una red de servicio completo. En este caso el equipo VDSL en el hogar será un switch ATM y los servicios estarían sobre una variedad de servidores interconectados. También se permiten otros modos de operación. El transporte de celdas ATM sobre los enlaces VDSL será usado por los sistemas de video digital conmutado (*Switched Digital Video - SDV*). Muchos servicios adicionales se ofrecerán incluyendo acceso a Internet de muy alta velocidad.

VDSL fue diseñado como un paso en la evolución del ADSL. Por ahora, la viabilidad de VDSL depende de la disponibilidad de fibra y la popularidad del ATM. El VDSL mantiene la compatibilidad con los servicios telefónicos analógicos actuales mediante un divisor tal como lo hace el ADSL. Respecto al ancho de banda, véase la figura 5.14.



**Figura 5.13** Configuración básica del VDSL

También el VDSL espera que haya muchos tipos de dispositivos en las instalaciones del usuario. Todos ellos son equipos terminales (*Terminal Equipment -TE*) para el VDSL y pueden incluir: computadoras personales, redes LAN, televisores y aún refrigeradores o acondicionadores

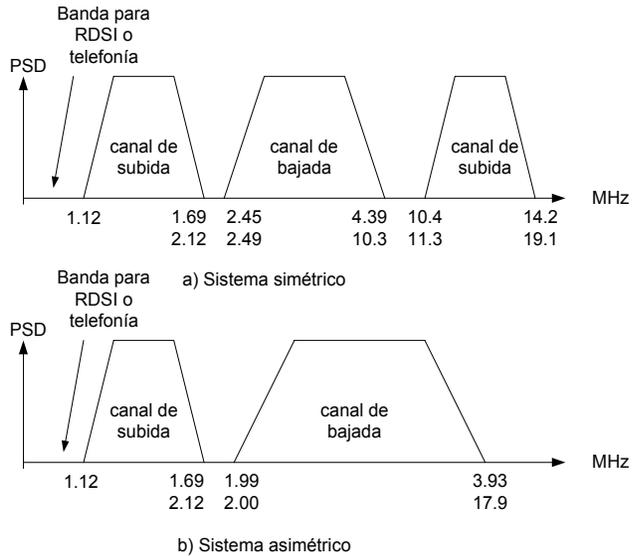
de aire. Es conveniente ubicar a VDSL y ADSL en sus contextos de diseño de la siguiente forma:

- El VDSL es más una estrategia de la red de servicio completo de los proveedores de servicio.
- ADSL es una estrategia de la red de datos sobrepuesta.

### 5.12. VENTAJAS DE LAS TECNOLOGÍAS XDSL

A continuación examinaremos las ventajas que tiene el xDSL con respecto a otras tecnologías de acceso.

1. En primer lugar, el xDSL sólo se instalará cuando un usuario solicite el servicio. Los proveedores del servicio no necesitan gastar millones de dólares y luego esperar para que los clientes le compren el servicio o firmen contrato. Se esperan altos costos iniciales en el xDSL, pero estos son generalmente mucho menores que los de otras tecnologías competidoras.
2. Cualquier servicio xDSL no requiere cambios en el software del conmutador de telefonía. En la mayor parte de los casos los divisores transportarán la voz analógica al *switch* mientras que los otros servicios serán manejados a través de servidores separados y *routers*.
3. ADSL puede ser usado también por los usuarios residenciales (usuarios SOHO) y también por igual por grandes organizaciones. La tecnología xDSL puede ser diferente (por ejemplo HDSL) pero el servicio podría ser esencialmente el mismo, con la posible excepción de servicios de video.
4. Otro aspecto interesante acerca del xDSL es que algunas versiones, especialmente ADSL/RADSL y VDSL pueden interconectarse en diferentes configuraciones. Se soportarán computadoras personales así como cajas individuales, tanto una red de área local doméstica como Ethernet. Aún nuevos esquemas de alambrado tales como el Bus de Electrónica de Consumidor (*Consumer Electronics Bus – CEBus*) serán permitidos en el hogar al extremo de una línea ADSL o VDSL.
5. El xDSL proveerá la infraestructura para el transporte de celdas ATM (especialmente la VDSL). Esto es importante debido a que el ATM forma la base de un conjunto de normas internacionales de servicios de banda ancha conocidos como el ISDN de banda ancha (*Broadband ISDN – B-ISDN*). Es difícil pensar que otras tecnologías puedan atender al ATM también como el xDSL especialmente las ADSL/RADSL y VDSL.
6. Finalmente, el xDSL no es una tecnología futura, ya está disponible aquí y ahora.



**Figura 5.14** Anchos de banda asignados a técnicas VDSL: simétrica y asimétrica.