

46  
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TRANSMISION DE INFORMACION SOBRE  
PAR TRENZADO

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
AREA ELECTRICA Y ELECTRONICA  
(MODULO DE COMUNICACIONES)  
P R E S E N T A N :  
IBARRA CHAVEZ JOEL  
MARQUEZ ANAYA MIRIAM  
MOLINA CARREÑO JUAN  
SONG MADERA RICARDO ANSELMO

DIRECTOR DE TESIS: ING. OLIVERIO OCTAVIO ORTIZ OLIVERA

CIUDAD UNIVERSITARIA

1999.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

273965



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**

**Tesis Digitales**

**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

---

---

#### **A DIOS.**

Primero que nada gracias a DIOS, por darme el don de la vida, una familia maravillosa y darme la oportunidad de llegar hasta este momento tan especial para mí. Quisiera decirte GRACIAS por haberme permitido aprender de mis tropiezos, los cuales me han hecho madurar con el paso de los años y tener la maravillosa experiencia de vivir. Tú en el cual siempre he creído y sé que siempre estarás conmigo.

#### **A mis padres.**

A mis padres de los cuales estoy muy orgullosa, que gracias a su amor, ejemplo y apoyo he podido llegar a ser lo que soy ahora. Gracias por haberme apoyado a lo largo de mis estudios, y por darme todo lo que estuvo a su alcance para que no me faltase nada. Gracias quisiera decir por el solo hecho de ser LOS MEJORES PADRES.

#### **A mis hermanos.**

A mis hermanos de los cuales he recibido un gran apoyo y cariño. Siendo ellos una parte muy importante en mi vida y que ellos tres forman UN TODO, les doy gracias por ser UNOS MAGNÍFICOS HERMANOS. Que indudablemente son todo un AMOR. Gracias por sus consejos y apoyo que me han ayudado a lo largo de mi vida, y que cada uno ha sido un aliento para salir adelante. LOS QUIERO MUCHÍSIMO.

#### **A una Persona Especial.**

Gracias a esa persona que ha sido mi inspiración para salir adelante, motivándome a enfrentar cualquier reto que se me presente. Que en los momentos difíciles he contado con su apoyo, y sus palabras de aliento me han motivado para seguir adelante, gracias por ser como eres y ofrecerme el mas grande tesoro del mundo que es la AMISTAD.

Miriam M. A.

*Gracias por apoyarme en todo este tiempo a: Dolores, Sunni, Chely, Ricardo y Miguel Angel.*

*A mis amigos: Roberto, Gerardo, P.P., Fernando, Polo, Daniela, Susanita, Raquel, Paty H., Gerardo L., Lety, Paco, Martha, Claudia, Julio, Fernando R., Xóchitl, Carlos, Geno, Juan L., Gonzalo, Ericka, Remigio, Sergio A., Alicia, Sergio R., Alicia C., Hortensia, Lucía, Paty, Leticia, Alfredo, Josefina, Humberto, Ivonne, Roberto, Juan Molina y a mi.*

*Y de manera muy especial al Ing. Oliverio O. Ortiz Olivera por asesorar esta tesis, pero sobre todo a la Universidad por permitirme ser estudiante hoy, profesionista mañana y universitario siempre.*

***Ricardo S.***

*Deseo agradecer a las siguientes personas por la colaboración en este trabajo:*

*A mis padres que son lo mejor de mi vida por el apoyo, consejos y palabras de aliento; a mis hermanos y familiares por su apoyo siempre incondicional; a mis compañeros, profesores y amigos por el interés y dedicación que siempre mostraron; a mi novia por la motivación que siempre me ofreció y en especial a Dios por la fuerza que me dio para poder realizar este trabajo.*

*Joel*

---

A Dios, mi compañero inseparable (siempre está cuando lo necesito).  
A mis padres y hermanos, por su apoyo incondicional (en las buenas y en las malas).  
A mis amigos, compañeros en la escuela de la vida (algunos ya se han ido).  
A mis compañeros de trabajo. "Arrieros somos y en el camino andamos".  
A la Universidad Nacional Autónoma de México, de la cual he recibido tanto.  
A mi asesor de tesis, por su paciencia y apoyo.

Juan

## ÍNDICE

---

|   |    |
|---|----|
| <b>Introducción</b> .....   | 1  |
| <b>Capítulo 1. Servicios de comunicaciones en las zonas urbanas</b> ..... | 3  |
| 1.1 Las comunicaciones en México .....                                    | 3  |
| 1.2 Servicios actuales y futuros de comunicaciones fijas en México .....  | 5  |
| 1.2.1 Telefonía .....   | 5  |
| 1.2.2 Fax .....   | 6  |
| 1.2.3 Televisión por cable .....  | 7  |
| 1.2.4 Videoconferencia .....  | 8  |
| 1.2.5 Internet .....  | 9  |
| 1.2.6 Datos .....   | 11 |
| 1.2.7 Videoteléfono .....   | 12 |
| 1.2.8 Video por demanda .....   | 13 |
| 1.2.9 RDSI (Red Digital de Servicios Integrados) .....                    | 13 |
| Referencias .....   | 15 |
| <b>Capítulo 2. Señales eléctricas de los servicios</b> .....              | 16 |
| 2.1 Sistemas de comunicación .....  | 16 |
| 2.1.1 Ancho de banda .....  | 18 |
| 2.1.2 Transmisión analógica y digital .....                               | 18 |
| 2.2 Señal de audio .....  | 19 |
| 2.2.1 Audio analógico .....   | 20 |
| 2.2.2 Audio digital .....   | 22 |
| 2.3 Señal de video .....  | 31 |
| 2.3.1 Video analógico .....   | 31 |
| 2.3.2 Video digital .....   | 37 |
| 2.4 Datos .....   | 40 |
| 2.4.1 Códigos de datos .....  | 41 |
| 2.4.2 Códigos de banda base .....   | 45 |
| Referencias .....   | 48 |
| <b>Capítulo 3. Características del par trenzado</b> .....                 | 49 |
| 3.1 Conductores Tip y Ring (Conductor A y Conductor B) .....              | 51 |
| 3.2 Señales en modo diferencial y en modo común .....                     | 51 |
| 3.3 Cables multipares .....   | 53 |
| 3.4 Características del trenzado .....                                    | 53 |
| 3.5 Aislamiento entre conductores .....                                   | 54 |
| 3.6 Blindaje .....  | 55 |
| 3.7 Cables rellenos y cables a presión .....                              | 56 |
| 3.8 Cubierta externa .....  | 57 |

|                    |   |           |
|--------------------|---|-----------|
| 3.9                | Calibres empleados en la construcción de cables de par trenzado ..... | 58        |
| 3.10               | Categorías del par trenzado .....                                     | 60        |
|                    | Referencias .....   | 62        |
| <b>Capítulo 4.</b> | <b>Redes de par trenzado en las zonas urbanas .....</b>               | <b>63</b> |
| 4.1                | La telefonía en México .....  | 65        |
| 4.2                | Equipos terminales .....  | 68        |
| 4.3                | La línea del usuario .....  | 68        |
| 4.3.1              | Bobinas de carga .....  | 70        |
| 4.3.2              | Derivaciones (bridged taps) .....                                     | 72        |
| 4.4                | Centrales telefónicas .....   | 72        |
| 4.4.1              | Central privada conectada a la red pública (PBX) .....                | 72        |
| 4.4.2              | Central privada "centralizada" (céntrax) .....                        | 73        |
| 4.4.3              | Central local .....   | 73        |
| 4.4.4              | Central de tránsito local (Tándem) .....                              | 74        |
| 4.4.5              | Central de larga distancia (Interurbana) .....                        | 74        |
| 4.4.6              | Central internacional .....   | 74        |
| 4.4.7              | Central combinada .....   | 75        |
| 4.5                | Las troncales telefónicas .....                                       | 75        |
| 4.6                | Red telefónica de TELMEX .....  | 77        |
| 4.7                | Aplicaciones actuales de las redes telefónicas .....                  | 78        |
|                    | Referencias .....   | 79        |
| <b>Capítulo 5.</b> | <b>Transmisión de señales digitales por par trenzado .....</b>        | <b>80</b> |
| 5.1                | Técnicas de modulación digital .....                                  | 81        |
| 5.1.1              | Modulación ASK .....  | 82        |
| 5.1.2              | Modulación FSK .....  | 84        |
| 5.1.3              | Modulación PSK .....  | 86        |
| 5.1.4              | Modulación QAM .....  | 88        |
| 5.1.5              | Modulación CAP .....  | 92        |
| 5.1.6              | Densidad espectral para las modulaciones CAP y QAM .....              | 92        |
| 5.1.7              | DMT (Discrete Multitone) .....  | 97        |
| 5.1.7.1            | Densidad espectral para DMT (Downstream) .....                        | 101       |
| 5.1.7.2            | Densidad espectral para DMT (Upstream) .....                          | 105       |
| 5.2                | Características de las tecnologías xDSL .....                         | 107       |
| 5.2.1              | ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) .....                       | 107       |
| 5.2.2              | HDSL (High data rate Digital Subscriber Line) .....                   | 110       |
| 5.2.3              | SDSL (Symmetric Digital Subscriber Line) .....                        | 110       |
| 5.2.4              | CDSL (Consumer Digital Subscriber Line) .....                         | 111       |
| 5.2.5              | IDSL (ISDN Digital Subscriber Line) .....                             | 111       |
| 5.2.6              | VDSL (Very high data rate Digital Subscriber Line) .....              | 111       |
| 5.2.7              | Otros términos empleados para nombrar a las tecnologías xDSL ..       | 112       |
| 5.3                | Inconvenientes en las transmisiones por par trenzado .....            | 113       |
| 5.3.1              | Ruido .....   | 113       |
| 5.3.2              | Atenuación .....  | 115       |
| 5.3.3              | Distorsión por atenuación .....                                       | 115       |



|   |  |            |
|---|--|------------|
| 5.3.4   | Distorsión por retardo de grupo .....                          | 116        |
| 5.3.5   | Translación de frecuencia .....                                | 116        |
| 5.3.6   | Jitter .....   | 116        |
| 5.3.7   | Distorsión por intermodulación .....                           | 117        |
| 5.3.8   | Transitorios .....   | 117        |
| Referencias .....   |  | 118        |
| <b>Capítulo 6. Análisis comparativo de técnicas de transmisión por par trenzado ...</b> |  | <b>119</b> |
| 6.1   | Velocidades de transmisión .....                               | 120        |
| 6.2   | Longitudes de transmisión .....                                | 121        |
| 6.3   | Técnicas de modulación .....                                   | 122        |
| 6.4   | Estándares .....   | 122        |
| 6.5   | FDM y cancelación de eco .....                                 | 123        |
| 6.6   | Características del hardware empleado .....                    | 124        |
| 6.7   | Los divisores (splitters) .....                                | 125        |
| 6.8   | Resumen comparativo de las técnicas xDSL .....                 | 126        |
| 6.9   | Operación de ADSL sobre la red telefónica .....                | 126        |
| 6.9.1   | Diagrama general para una red de ADSL .....                    | 127        |
| 6.9.2   | Red de banda ancha basada en ADSL .....                        | 128        |
| 6.9.3   | Modelo de referencia del sistema .....                         | 129        |
| 6.9.4   | Dependencia de las funciones de ADSL con el medio físico ..... | 131        |
| 6.9.5   | Situación actual de ADSL .....                                 | 132        |
| 6.10  | Pruebas para equipos xDSL .....                                | 132        |
| Referencias .....   |  | 137        |
| <b>Capítulo 7. Conclusiones .....</b>   |  | <b>138</b> |
| <b>Bibliografía .....</b>   |  | <b>140</b> |
| <b>Acrónimos .....</b>  |  | <b>144</b> |

## INTRODUCCIÓN

---

La red telefónica que conocemos actualmente no fue diseñada para la conexión de una PC a Internet ni para ningún otro equipo diferente al teléfono. La red que logró crear Alexander Graham Bell en 1876 con la invención del teléfono no pudo anticipar inventos como la PC, el módem o Internet. Esta red fue diseñada, pensada ingenierilmente y construida para un propósito básico: la conversación telefónica entre dos personas por periodos relativamente cortos de tiempo. En las últimas décadas esta red telefónica dejó de realizar en un gran porcentaje tareas rutinarias como: llamadas telefónicas de 3 ó 6 minutos para pedir una pizza, reportarse al trabajo, o una simple plática entre amigos, ahora encontramos que las tareas han aumentado, usamos la red para transmitir información empleando el fax o mediante Internet. Asimismo, ya no está limitada únicamente a la voz, ahora podemos enviar o recibir textos e imágenes.

La red telefónica actual se encuentra constituida en gran parte por par trenzado, el cual se emplea para transmitir señales tanto analógicas como digitales. Sin embargo, se ha observado que la velocidad de transmisión de las señales digitales por este medio no corresponde a las expectativas de tiempo de espera del usuario.

Como consecuencia con el aumento de usuarios de Internet se ha ocasionado que las líneas telefónicas sean ocupadas por lapsos de tiempo más largos y además se observa que el intercambio de información entre el proveedor de Internet y el usuario a través del par trenzado es lento. Con base en estas necesidades de comunicación que demandan mayores velocidades en la transmisión de información, y que los modems convencionales no pueden ofrecer, han surgido nuevas tecnologías conocidas como xDSL, entre la que destaca ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) la cual permite velocidades de transmisión más altas, aprovechando el par trenzado ya existente.

El planteamiento anterior nos llevará a conocer las características del par trenzado y los tipos de señales que se transmiten por éste; considerando que este medio de transmisión es el que más abunda en el mundo.

Una vez conocidas las características del par trenzado, se hará un análisis de las redes telefónicas que emplean este medio, así como los tipos de servicios que se prestan por esta red. Habiendo planteado el entorno de las comunicaciones por medio del par trenzado en las zonas urbanas, se hará una descripción de las nuevas tecnologías que se están desarrollando para la transmisión de señales a alta velocidad por medio del par trenzado, lo cual es el objetivo del presente trabajo.

# CAPÍTULO 1

## SERVICIOS DE COMUNICACIONES EN LAS ZONAS URBANAS

---

El hombre ha tenido como característica principal, desde su existencia en la Tierra, buscar nuevas formas para poder comunicarse con sus semejantes, recordemos que con este afán de comunicación se han creado diversos medios para la comunicación. El diálogo de viva voz o los sonidos y señas fueron algunas de las primeras formas de poder comunicarse, pero con el crecimiento de las comunidades fue necesario inventar y diseñar otras formas de comunicación, es decir los medios con los que se contaban ya no eran suficientes para satisfacer las necesidades de comunicación. En los últimos siglos, gracias al desarrollo de la tecnología, las formas y medios para comunicarse han crecido y en la actualidad se cuenta con diversos medios como son la telegrafía, el teléfono, la radio, la TV, el satélite, las redes de datos, Internet, etc., todos ellos interactuando para lograr el objetivo inicial: la comunicación.

### 1.1 Las comunicaciones en México

El desarrollo del hombre implicó que la comunicación se volviera más compleja y más abstracta, lo que dio como consecuencia lógica que en fechas más o menos recientes, en relación con la historia del género humano, la comunicación se haya erigido en ciencia.

Las sociedades modernas han obligado a la comunicación a cubrir un mayor número de funciones. Si en un principio su objetivo fue informar, actualmente también funge como agente socializador y educativo, facilita la promoción de obras artísticas y culturales, propicia el debate y el diálogo sobre asuntos de interés social, promueve la integración de diferentes grupos o naciones y proporciona esparcimiento y diversión.

Conforme las primeras sociedades fueron creciendo, la información social fue aumentando simultáneamente en cantidad y complejidad, hasta que llegó el momento en que su transmisión oral se hizo imposible. La estructura que el lenguaje había ganado hizo posible el almacenamiento de esa información en escritos y la posterior invención de la imprenta permitió su difusión a un mayor número de lectores, particularmente con el advenimiento del primer medio de comunicación de gran difusión: la prensa, el antecedente más antiguo de la actual comunicación de masas. La primera imprenta del continente americano fue la que se estableció en nuestro país en 1536.

El avance tecnológico y los grandes inventos y descubrimientos que surgieron hacia finales del siglo XIX hicieron posible que nuestra centuria presenciara el nacimiento de los medios electrónicos de comunicación.

Según registra la historia, el 9 de octubre de 1921 se efectuó la primera transmisión radiofónica en México. Entre 1921 y 1945 entraron en operación, integradas en la organización Radioprogramas de México, unas 30 estaciones radiofónicas agrupadas en las cadenas XEW-NBC y XEQ-CBS [1].

En la actualidad en México operan una gran cantidad de estaciones radiodifusoras tanto federales como estatales, municipales, universitarias y privadas en las bandas de AM, FM, y en onda corta.

Unas cuantas décadas después del surgimiento de la radio se introdujo en los hogares otro invento aún más novedoso: la televisión. En septiembre de 1946 el Ingeniero Guillermo González Camarena, después de una larga serie de experimentos, logró transmitir el primer programa de televisión desde su laboratorio de las calles de Havre en la Ciudad de México [2]. Cuatro años después nace oficialmente la televisión en nuestro país con la transmisión del cuarto informe presidencial de Miguel Alemán, bajo cuyo mandato se aprueba el decreto que norma la instalación y el funcionamiento de las instalaciones de televisión.

En la actualidad la capital cuenta con nueve canales de televisión que operan: en la banda de VHF, los canales 2, 4, 5, 7, 9, 11 y 13; y en la banda de UHF, los canales 22 y 40.

En 1966 la creciente necesidad de comunicación de nuestro país lo llevó a ser miembro del consorcio INTELSAT. En 1968, dos años después México entraba en la era de los

satélites artificiales y de la televisión a color al transmitir directamente los eventos de la XIX olimpiada a muchos países mediante el enlace del satélite ATS-3 (Applications Technology Satellite) de INTELSAT.

La expansión de nuevas posibilidades de comunicación continuó y para enero de 1969, tres meses después de haberse realizado la transmisión de los juegos olímpicos, México logró tener acceso a un satélite de INTELSAT para ampliar su comunicación telefónica.

En 1981, la saturación de la Red Federal de Microondas, instalada en 1968, llevó a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes a arrendar capacidad en uno de los satélites de INTELSAT para satisfacer la creciente demanda de señales de televisión, telefonía y telegrafía tanto nacional como internacional.

El sistema de satélites denominado Morelos I y II se pone en marcha en el año de 1985. Posteriormente, los satélites Solidaridad comienzan su operación en el año de 1994, ambos son del tipo híbrido y son los primeros en el mundo en utilizar tres bandas de frecuencia (C, Ku y L) [3]; surgen así gran cantidad de nuevas redes: de transmisión de datos a alta velocidad, de video comprimido, sistemas de videoconferencias, etc.

## **1.2 Servicios actuales y futuros de comunicaciones fijas en México**

### **1.2.1 Telefonía**

Es la transmisión de la voz a distancia por un medio físico como puede ser el aire, fibra óptica, cable coaxial, pero sobre todo par trenzado.

Servicios que ofrece la telefonía en México:

A) **Servicio local.** Abarca un área geográfica que contiene cierto número de centrales locales; cualquier llamada dentro del área local no genera cargos extras.

Una central local tiene cierta área de servicio; todos los abonados en esa área obtienen su servicio a través de esa central.

B) **Larga distancia.** Para entender qué es telefonía a larga distancia, se debe saber que los usuarios tienen acceso al resto de la red de larga distancia por medio de la central denominada oficina central o central local, por lo tanto esta red sería el agrupamiento de centrales telefónicas que interoperan a nivel nacional. Si se quiere acceder a la red telefónica nacional se debe conectar con la red internacional a través de una central de tránsito o centro de tránsito.

El servicio puede ser público (es decir, con acceso al público en general) o privado. Este servicio telefónico, puede ser proporcionado por una empresa privada.

C) **Llamada en espera.** Es una señal que avisa al abonado que una segunda persona desea contactarla por la misma línea. Esto es, poner a la primera persona en espera y hablar con la segunda.

D) **Conferencia tripartita.** El usuario puede conversar con dos personas ubicadas en distintos lugares al mismo tiempo.

E) **Identificador de llamadas.** Por medio de este servicio se puede conocer el número telefónico de la persona que llama al usuario aun antes de contestar.

F) **Buzón de voz.** Mediante este servicio se pueden dejar mensajes cuando no se pueda contestar el teléfono o cuando la línea esté ocupada. Además, se pueden recuperar los mensajes desde el hogar o desde otro teléfono de tonos.

G) **Sígueme.** El usuario puede programar desde su línea, el número telefónico donde desea ser localizado, ya sea en México o en el resto del mundo. Este servicio también es aplicable a teléfonos celulares.

### 1.2.2 Fax

La transmisión del fax a través de las líneas telefónicas es un método de comunicación gráfica el cual permite la transmisión eléctrica de un material impreso o ilustrado de un punto geográfico a otro, respaldándose con una copia confiable registrada de manera permanente en el extremo receptor. La transmisión de fax a través de las líneas telefónicas

ha tenido amplia aplicación desde 1920. Antes de la II Guerra Mundial, su principal función era la transmisión de cartas del estado del tiempo y fotografías para los periódicos.

En la transmisión de un fax, se emplean algunos procedimientos para enviar las gráficas sobre papel hacia el receptor empleando el par trenzado telefónico, estos procedimientos son: la exploración del documento, el registro del mismo, la transmisión del fax hacia el usuario distante y la recepción del fax. Básicamente se trabaja con tecnología analógica, sin embargo, existe la tendencia marcada para el uso de las técnicas digitales.

### **1.2.3 Televisión por cable**

La televisión por cable es una transmisión unidireccional de señales de video y audio a casas o establecimientos suscritos a este servicio.

Las redes que atienden principalmente subscriptores residenciales se denominan redes subscriptoras, mientras que las redes que atienden negocios, comercio, educación y gobierno se denominan redes institucionales.

La infraestructura de los sistemas de distribución para televisión por cable generalmente está soportada por ductos y construcciones bajo tierra originalmente empleadas para el servicio telefónico o de distribución de energía.

Las ventajas de la televisión por cable son:

- Una expansiva programación de televisión, películas de pago por evento y, en un posible futuro, servicios telefónicos transmitidos simultáneamente sobre un solo ancho de banda de la red.
- Los recursos tecnológicos aseguran que los usuarios serán conectados a un sistema superior a cualquier red telefónica o satélite que se ofrecen hoy.
- Una infraestructura que provee alta calidad asegura los servicios de transmisión, que a diferencia de los servicios basados en televisión vía satélite, podrán funcionar bidireccionalmente.



- Se tendrá un grupo de operadores que darán asistencia técnica gratis como parte de un sistema integral de servicios.

#### **1.2.4 Videoconferencia**

La videoconferencia es un sistema de comunicación que permite llevar a cabo el encuentro de varias personas ubicadas en sitios distantes, y establecer una conversación como lo harían si todas se encontraran reunidas en una sala de juntas. Es una alternativa de comunicación entre dos o más personas en lugares geográficamente distantes, teniendo la oportunidad de hablar y observarse al mismo tiempo.

El problema actual de la videoconferencia es que las comunicaciones cara a cara han llegado a ser una práctica costosa, con un alto consumo de tiempo, por lo que es frecuentemente omitida. Se hace uso entonces de medios como el teléfono o el fax para satisfacer las necesidades de comunicación corporativa.

Se puede dividir en dos áreas: 1) la videoconferencia grupal o 2) videoconferencia sala a sala con comunicación de video comprimido a velocidades desde 64 kbps (E0) hasta 2.048 Mbps (E1).

##### **Ventajas:**

- Los usuarios de este servicio pueden comunicarse con voz y video a pesar de que los separen grandes distancias.

##### **Desventajas:**

- Costo del servicio.
- La comunicación es pagada por larga distancia.
- Se tiene que estar afiliado a una empresa que brinde este servicio

##### **Aplicaciones de la videoconferencia:**

- Administración de clientes de publicidad.
- Junta de Directorio.

- Servicio al cliente.
- Educación a distancia.
- Desarrollo de ingeniería.
- Reunión de ejecutivos.
- Estudios financieros.
- Coordinación de proyectos entre compañías.
- Actividad en bancos de inversión.
- Aprobación de préstamos.
- Control de la manufactura.
- Diagnósticos médicos.
- Control de fusiones y adquisiciones.
- Compras.
- Gestión del sistema de información administrativa.
- Gestión y apoyo de ventas.
- Contratación / entrevistas.
- Supervisión.
- Adiestramiento / capacitación.

### **1.2.5 Internet**

Internet es una red de computadoras orientadas a paquetes, lo que significa que lo que se transfiere es dividido en paquetes. Esto no es un principio nuevo, se emplea desde 1960.

En 1964 surgió la idea de crear una red de computadoras, la cual fuera capaz de poner en comunicación a las autoridades norteamericanas después de un ataque nuclear. Los propósitos de esta red serían:

- Todos los nodos de la red deberían ser iguales en jerarquía, en donde cada uno podría enviar y recibir mensajes.
- Todos los mensajes serían enviados en paquetes, cada uno con su propia dirección. Estos paquetes deberían ser enviados desde un nodo y recibidos en otro. La importancia de esto radicaba en que si uno de los nodos era destruido, el resto de los nodos aún se encontrarían disponibles para la comunicación. Lo cual provocaría que la red fuera lenta pero extremadamente confiable. Internet aún utiliza este principio.

La primera red de prueba construida bajo los principios anteriores fue instalada en el National Research Laboratory en Gran Bretaña en 1968. Poco tiempo después la Advanced Research Projects Agency (ARPA) inició la instalación de una red similar en Estados Unidos: ARPANET, la cual contaba con computadoras de alta velocidad, una de las cuales se encontraba en la UCLA [4].

Ya para 1971 ARPANET contaba con 23 nodos, y para 1982 se establecía TCP/IP como protocolo de ARPANET y el nombre de Internet se utilizó por primera vez.

En 1983 ARPANET se divide en ARPANET (segmento académico) y MILNET (segmento militar) y debido a su estructura descentralizada ARPANET pudo crecer. A mediados de los ochenta la National Science Foundation (NSF) supervisaría el segmento académico de la red que posteriormente se le conocería como NSFNET y ARPANET dejaría de existir.

En los inicios de los 90's existió un impresionante incremento en el número de usuarios de Internet debido al desarrollo de navegadores para la red. Actualmente Internet ha cobrado mayor auge debido a su gran cantidad de información y fácil acceso.

Gracias al fácil acceso a la información contenida en la red, la educación ha cambiado radicalmente, ya que muchos estudiantes cambiaron los libros por las computadoras. Esto no sólo cambió la forma de aprender, si no que también trajo algunas complicaciones, ya que a pesar de los grandes adelantos en la construcción de la red, hay que recordar que la computadora se conecta a Internet por un circuito telefónico ordinario el cual dedica todo el ancho de banda al circuito todo el tiempo, pero este ancho de banda no es utilizado completamente por el usuario de la computadora; esto implica que mientras el usuario de Internet esté trabajando, la línea telefónica estará ocupada. Suponer ahora que si todos usaran las computadoras al mismo tiempo, se produciría una falla parcial en los conmutadores de la red telefónica haciendo difícil continuar con las llamadas en progreso y aún más complicado establecer nuevas llamadas; por lo que se están estudiando nuevas tecnologías digitales que permitan utilizar este ancho de banda tanto para la línea telefónica como para otros servicios digitales; estas tecnologías se verán más a detalle en los siguientes capítulos.

Las redes son enlazadas por computadoras especiales, llamadas ruteadores. Un ruteador revisa el destino del paquete (los datos) y decide en que dirección enviarlo.

Los ruteadores conocen el destino de la información gracias a que ésta tiene una dirección llamada IP (Internet Protocol address). Los datos transferidos con IP son divididos en paquetes, los cuales son manejados por un protocolo de comunicaciones llamado TCP (Transport Control Protocol).

### **1.2.6 Datos**

En el campo de las telecomunicaciones, la transmisión de datos ha ido adquiriendo mayor importancia con el paso del tiempo y es esencialmente diferente a la transmisión de la voz. Mientras en la transmisión de voz el transmisor se comunica utilizando la voz y el receptor emplea el oído para recibir el mensaje, en la transmisión de datos la intervención humana no es necesaria.

Para la transmisión de datos se emplean secuencias de bits que representan números, símbolos o simplemente secuencias con algún significado para los equipos involucrados en la comunicación.

Como ejemplos en la comunicación de datos se pueden mencionar los siguientes:

- Control de inventarios en multipuntos.
- Reservaciones de líneas aéreas y de ferrocarril.
- Transacciones bancarias.
- Control de fletes camión - ferrocarril - barco.
- Control de tráfico aéreo.
- Defensa: aérea y naval.
- Recursos compartidos para investigación y desarrollo.
- Composición remota de textos (periódicos y revistas).
- Policía: para combatir el crimen.
- Pronósticos del tiempo: recolección automática de datos sobre el estado del tiempo.

Actualmente en el mundo hay dos nuevos tipos de módems que han surgido en los últimos años, aunque ninguno de los dos se encuentra operando en México. Uno de ellos es el módem por cable que opera sobre una red híbrida (fibra óptica/coaxial) y su velocidad es de alrededor de 10 Mbps [5]. El otro es el módem ADSL (Asymmetric Digital Subscriber

Line) y opera sobre una línea telefónica ya existente de cobre y provee tasas tan altas como 9 Mbps. Ambas tecnologías nos sirven para acceder a Internet, a redes remotas, acceso al trabajo en casa, aprendizaje a distancia, redes especiales de acceso para cientos de millones de usuarios de computadoras personales.

Los módems actuales pueden ser síncronos o asíncronos, y los fax-módems pueden establecer y mantener comunicaciones de datos o redes de facsímiles entre una computadora local y una remota.

El módem actual es una herramienta flexible de telecomunicaciones que ofrece una compatibilidad sobresaliente y las siguientes características:

- Operación full-duplex.
- Operación síncrona en todas las tasas de datos, y operación asíncrona a una velocidad de 115,200 bps [6].
- Configuración de memoria.
- Múltiples niveles de seguridad con autollamada y contraseña.

### **1.2.7 Videoteléfono**

Los usuarios de este servicio podrán efectuar en un futuro videollamadas de alta calidad con facilidad, a través de Internet o sobre las líneas telefónicas regulares. Se podrá utilizar el servicio de un módem estándar, adaptadores de terminales RDSI, módems para cable o LAN. El videoteléfono brinda una solución de tiempo y dinero para mantenerse en contacto directamente con la familia y los amigos, y para que las empresas lleven a cabo sus negocios mediante comunicaciones de video de alta calidad, esto es, obtener animación de video en vivo contando con una imagen de 30 cuadros por segundo y contar con la posibilidad de realizar tomas de video desde sus videocámaras. El software multipunto incorpora ventanas de video durante las conversaciones en línea para que se establezcan en tiempo real y con varias personas a la vez.

Mediante la posibilidad de experimentar transmisiones de video de alta calidad a través de líneas telefónicas comunes o de Internet, los usuarios pueden obtener una llamada del videoteléfono con toda la calidad de sonido y la seguridad de una llamada telefónica y comunicarse con varias personas mediante conversación multipunto. Con las aplicaciones

del videoteléfono, los profesionistas que trabajan en pequeñas oficinas o en sus hogares pueden conducir reuniones de negocios de un lugar a otro y/o desde lugares alejados utilizando conexiones analógicas, digitales o LAN para compartir aplicaciones o conversar en forma directa sin abandonar su oficina o mirar un concierto en vivo en casa.

### **1.2.8 Video por demanda**

Se piensa que en un futuro la entrega de películas por demanda y los servicios financieros e informativos como bibliotecas en línea serán parte de los beneficios que ofrecerá la supercarretera de la información. Las compañías tendrán que instalar fibra óptica en la última milla en proyectos muy ambiciosos para demostrar el potencial de los servicios interactivos de video. Mientras que, por otra parte, las operadoras de televisión por cable considerando los nuevos servicios de voz y video por demanda empezarán a desarrollar proyectos adaptando sus redes para un funcionamiento bidireccional. Sin embargo, el costo de acceder a una línea de fibra óptica, que pueda conducir sin problemas señales de video bidireccionalmente, es muy alto.

También se ha pensado en transmitir video a través de par trenzado mediante la tecnología de ADSL, y aunque la electrónica necesaria es muy compleja, ya existen dispositivos semiconductores capaces de realizar un gran número de operaciones por segundo a un costo razonable.

Ante esta situación se pospone la oferta de video por demanda, por lo que probablemente la oferta de servicios interactivos, como los videos por demanda se presentarán en unos 5 o 10 años, tanto en redes para televisión por cable como a través de redes telefónicas.

### **1.2.9 RDSI (Red Digital de Servicios Integrados)**

La Red Digital de Servicios Integrados (ISDN por sus siglas en inglés: Integrated Services Digital Network) es un estándar internacional de telecomunicaciones para la transmisión de voz, datos, textos e imágenes sobre una línea de telecomunicaciones única. Es decir, a través de una línea de par de cobre (la red pública telefónica), el usuario tiene derecho a accesos conmutados.

La RDSI es una red de telecomunicaciones que proporciona un medio universal de comunicación entre diferentes tipos de usuarios. Asimismo, ofrece capacidades de comunicación universal digital multiservicio y mejora la calidad de transmisión comparada con el desempeño de las redes analógicas actuales. La red digital de servicios integrados soporta diversas aplicaciones, entre las cuales están las conexiones conmutadas y no conmutadas. Las conexiones conmutadas en una RDSI comprenden conexiones con conmutación de paquetes y sus concatenaciones. Por lo que los nuevos servicios que se introduzcan en una RDSI deberán disponerse de modo que sean compatibles con las conexiones digitales conmutadas a 64 kbps.

Esta red emplea la señalización fuera de banda, que provee un canal separado para la información de control. Asimismo existe la modalidad de transmisión de banda ancha con cables de cobre para elevar la velocidad de transmisión.

Los servicios RDSI se dan bajo dos regímenes:

1. BRI (Basic Rate Interface; Interfase de régimen básico)
2. PRI (Primary Rate Interface; Interfase de régimen primario).

El BRI proporciona un servicio a 144 kbps, que incluye dos canales B de 64 kbps para voz, datos y video, y un canal D de 16 kbps para información de control. Por ejemplo RDSI-BRI permite que los usuarios accedan a servicios como la videoconferencia interactiva personal basada en PC (comunicación remota de persona a persona a través de la digitalización de imágenes y compresión de voz) con transferencia de archivos, así como la posibilidad de trabajo conjunto sobre un documento en común, gráfico o alfanumérico.

## Referencias

- [1] SCT, El sistema de satélites Morelos, folleto informativo: papeles 9.
- [2] Ídem.
- [3] Ídem.
- [4] History of the Internet and the WWW  
<http://ourworld.compuserve.com/homepages/dmayr/history.htm>
- [5] GARAY, Alfonso de, “La última milla en la supercarretera de la información”, Revista RED, pág.4.
- [6] Motorola, V.3400 User's Guide, Nov. 1996, pág.2.



## SEÑALES ELÉCTRICAS DE LOS SERVICIOS

---

Para obtener información la gente puede utilizar los medios de comunicación electrónica como el teléfono, el telégrafo, la TV, la radio, el Internet, el fax, etc. Cada uno de estos medios necesita que la información esté transformada en señales eléctricas; para esto, existen diferentes técnicas. A lo largo de la existencia humana, el hombre ha utilizado los sonidos, la voz, los dibujos, las imágenes, la escritura, los símbolos y signos para poder comunicarse; con todos los elementos anteriores el hombre logra transmitir la información. En un sistema de comunicación electrónica todos estos elementos necesitan ser transformados a señales eléctricas, por lo que podemos encontrar señales de video, señales de audio y datos, en los cuales están enmarcados los elementos mencionados anteriormente.

### 2.1 Sistemas de Comunicación

Un sistema de comunicación electrónica tiene como propósito intercambiar información entre dos o más personas; esto se logra convirtiendo la información de la fuente original a un formato eléctrico y después transmitiéndola a varios destinos, en donde se convierte de nuevo a su forma original. La señal eléctrica puede propagarse en varios modos; como un voltaje o una corriente a través de un cable metálico; como ondas de radio emitidas por el espacio libre o como ondas de luz por una fibra óptica.

El primer sistema de comunicación electrónica fue desarrollado en 1837 por Samuel Morse usando la inducción electromagnética, pudo transmitir información en forma de puntos, guiones y espacios por medio de un cable metálico, este sistema es conocido como telégrafo. En 1876 Alexander Graham Bell y su asistente Thomas A. Watson transmitieron una conversación humana a través de un sistema telefónico funcional usando cables metálicos como medio de transmisión. [1].

Los elementos esenciales en la comunicación electrónica son: la transmisión, la recepción y el procesamiento de la información con el uso de circuitos electrónicos. La figura 2-1 muestra un diagrama simple de un sistema de comunicaciones:

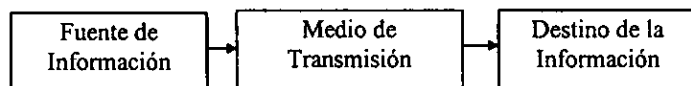


Figura 2-1 Sistema de Comunicaciones

Este diagrama está compuesto de tres secciones principales: una fuente, un destino y un medio de transmisión. La información se propaga por el sistema en forma de símbolos, que pueden ser analógicos, como la voz humana, información de imagen de video, o música; o pueden ser digitales como los números binarios codificados, códigos alfa numéricos, símbolos gráficos, códigos operacionales del microprocesador, o información de base de datos. Aunque con frecuencia la información fuente no es apropiada para ser transmitida en su forma original y se debe convertir a una forma más apropiada, antes de la transmisión.

La propagación de energía electromagnética de baja frecuencia por la atmósfera no es práctica, por esto en la transmisión de energía electromagnética es necesario superponer una señal de información de frecuencia relativamente baja, a una señal de frecuencia relativamente alta. En los sistemas de comunicaciones electrónicos analógicos, la información de la fuente modula una señal. Modular significa simplemente cambiar, variar o regular una señal en frecuencia, así la información de la fuente de frecuencia baja se conoce como señal de modulación y la señal de frecuencia alta sobre la cual se actúa se llama portadora; la señal resultante es llamada señal modulada. La señal de información que modula la portadora principal se conoce como señal de banda base.

Hay dos razones importantes del porqué de la modulación en un sistema de comunicaciones electrónicas; la primera es el hecho de que es muy difícil radiar señales a frecuencias bajas por la atmósfera, y la segunda es que frecuentemente las señales ocupan la misma banda de frecuencia y si son transmitidas en su forma original podrían interferir entre ellas. Por ejemplo todas las estaciones de radiodifusión emiten la señal de voz y música ocupando la banda de frecuencia de audio de 0 a 15 kHz, por lo que cada estación traslada su señal de información a una banda de frecuencia diferente para que su transmisión no interfiera con las demás.

### 2.1.1 Ancho de Banda

El ancho de banda de un sistema de comunicaciones es la banda de paso mínima ( rango de frecuencias) requerida para enviar la información de la fuente a través del sistema. El ancho de banda de un sistema de comunicación debe ser lo suficientemente grande para pasar todas las frecuencias significativas de la información. La capacidad de información de un sistema de comunicación es una medida que indica cuanta información de la fuente puede transportarse por el sistema en un periodo dado de tiempo. La capacidad de información de un sistema de información es una función del ancho de banda del sistema y el tiempo de transmisión. La relación entre el ancho de banda, tiempo de transmisión y capacidad de información fue determinada inicialmente por R. Hartley en 1920 [2] por la siguiente expresión:

$$I = B * t$$

donde: I es la capacidad de información

B es el ancho de banda (Hertz)

t es el tiempo de transmisión (segundos)

La expresión muestra que la capacidad de información es una función lineal directamente proporcional al ancho de banda del sistema y al tiempo de transmisión. Se requiere aproximadamente 3 kHz de ancho de banda para transmitir señales telefónicas con calidad de voz; se requieren mas de 200 kHz [3] de ancho de banda para la transmisión de FM comercial de señal de música de alta fidelidad y se necesita casi 6 MHz para las señales de televisión con una calidad de radiodifusión; cuanto mayor sea la cantidad de información por unidad de tiempo, mayor será el ancho de banda requerido.

### 2.1.2 Transmisión Analógica y Digital

El medio de transmisión más simple que se emplea en las telecomunicaciones es el par de conductores de cobre. Éste permite el envío de la corriente eléctrica de una señal desde el transmisor en un extremo hasta el receptor en el otro extremo. Existen dos métodos básicos de modulación (codificación) que se utilizan para transmitir en forma eléctrica la señal de información, las cuales son: la modulación y transmisión analógica y la modulación y transmisión digital.

La modulación analógica implica la creación de una forma de onda eléctrica, análoga a la forma de onda de la información original (por ejemplo la voz). Las líneas de transmisión analógicas se emplean para enviar señales con modulación analógica, las cuales han predominado en los enlaces de las comunicaciones del mundo.

La modulación digital convierte la información en una serie de pulsos eléctricos binarios, los cuales pueden tomar alguno de sólo dos valores posibles de amplitud. Se dice que la información se envía como una serie de dígitos y de aquí el nombre de transmisión digital. Esta técnica se ha convertido en el principal método de transmisión de telecomunicaciones; esto debido a los beneficios que ofrece la transmisión digital, tanto en términos de funcionamiento como de costo. La comunicación digital abarca un área extensa de técnicas de comunicación incluyendo transmisión digital. La transmisión digital es la transmisión de pulsos digitales entre dos o más puntos. Los sistemas de transmisión digital requieren de un elemento físico entre el transmisor y el receptor, como un par de cables, un cable coaxial, o un cable de fibra óptica.

## **2.2 Señal de Audio**

El sonido no es más que vibraciones del aire que nos rodea, causadas por bolsas de alta o baja presión de aire que han sido generadas por alguna forma de vibración mecánica, por ejemplo un objeto golpeando a otro, o la vibración de las cuerdas vocales humanas durante la emisión de voz. Las vibraciones se manifiestan por la propagación de ondas de presión a través de un medio que puede ser el aire, el agua, un metal, etc. Algunos medios de propagación permiten una mejor conducción del sonido que otros. Las ondas de sonido en el aire que nos rodea provocan que los objetos vecinos vibren. El oído humano detecta el sonido mediante el uso de un diafragma muy sensible que vibra en sincronía con el sonido que lo impacta. El timbre de un sonido depende de la frecuencia de vibración del sonido. En general el sonido es una mezcla muy compleja de frecuencias. El rango de frecuencias típico audible para el ser humano es de 20 Hz a 20 kHz [4]. La música emplea un rango más amplio de frecuencias. Sin embargo, para la transmisión de la voz inteligible generalmente sólo se necesitan las frecuencias de 300Hz a 3.4 kHz. En la figura 2-2 se muestra la respuesta en frecuencias de la voz humana.

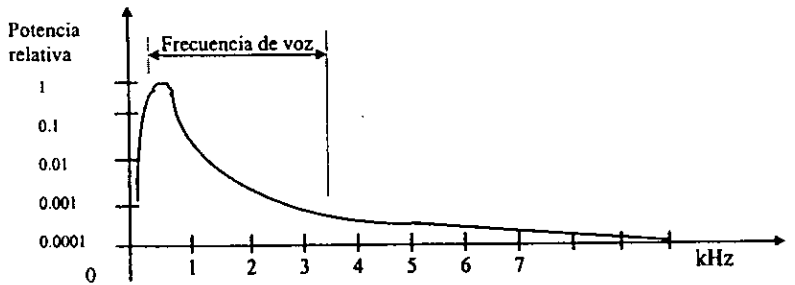


Figura 2-2 Respuesta en Frecuencia de la Voz

### 2.2.1 Audio Analógico

Las amplitudes de las señales de audio son comúnmente variables. Dado el amplio rango de voltajes en audio es usual expresar los niveles de audio en decibeles con referencia a una potencia específica o nivel de voltaje. Comúnmente, hay tres unidades de medición usadas para niveles de audio.

La abreviación dBm es usada para expresar la potencia de una señal senoidal con respecto a una referencia de 1 miliwatt (mW)[5]. Una potencia de 1 mW disipada en una carga de 600 ohms resulta en un voltaje RMS de 0.775 V. Cuando es disipada en valores de carga diferentes, resultan voltajes diferentes. La potencia de 1 mW es definida como 0 dBm. Otros niveles de potencia en audio son expresados en dBm con respecto a la referencia del nivel de potencia a 0 dBm según la ecuación:

$$N(\text{dBm}) = 10 \log_{10} \left[ \frac{P}{P_{\text{ref}}} \right]$$

Donde :

N = número de dbm.

P = El nivel de potencia medido en mW.

$P_{\text{ref}}$  = El nivel de referencia de 1mW.

La ecuación puede ser expresada en mediciones de voltaje o corriente :

$$N(\text{dB}) = 20 \log_{10} \left[ \frac{V}{V_{\text{ref}}} \right]$$

$$N(\text{dB}) = 20 \log_{10} \left[ \frac{I}{I_{\text{ref}}} \right]$$

En las ecuaciones se considera que los voltajes y corrientes son medidos con impedancias de  $600\Omega$ .

Un método alternativo para mediciones de niveles para señal de audio es el dBu. El concepto de dBu considera una impedancia de fuente cercana a cero y una impedancia de carga cercana a infinito. Sobre estas condiciones idealizadas de carga abierta, la fuente no disipa ninguna potencia en la carga y el voltaje de fuente de carga abierta no es afectado por la carga. El nivel de señal de referencia es 0.775 V RMS. Para propósitos prácticos, el concepto de dBu requiere impedancias de fuente del orden de  $50\Omega$  ó menos e impedancias de carga de  $10K\Omega$  ó mas.

Otro método alternativo para expresar niveles de audio es el dBV; El voltaje de referencia es 1 V.

$$N(\text{dBV}) = 20 \log_{10} \left[ \frac{V}{V_{\text{ref}}} \right]$$

El teléfono está constituido básicamente por un micrófono y un audífono. Cuando no se habla, estos dos elementos tienen una resistencia eléctrica constante y, por lo tanto, una corriente estable fluye por el circuito. Cuando hablamos sobre el micrófono, las ondas de sonido que inciden sobre el diafragma provocan que la resistencia eléctrica del dispositivo varíe ligeramente; el cambio de resistencia provoca un cambio de corriente [6], en la figura 2-3 se muestra este efecto. Como se observa, el resultado es la creación de una señal que varía casi en la misma forma que la onda de sonido original.

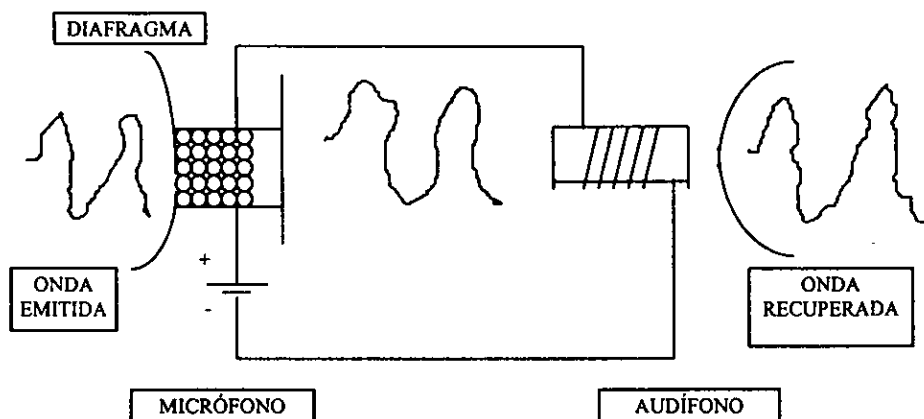


Figura 2-3. Señal de audio

### 2.2.2 Audio Digital

El audio ha tenido el mayor desarrollo. La Sociedad de Ingenieros en Audio (AES) junto con la Unión de Emisoras Europeas (EBU) han definido el estándar de audio digital AES/EBU [7]. Esto ha conducido al diseño de grabadoras de cinta para audio y equipo de estudio donde el procesamiento de la señal es realizado en el dominio digital, el cual restringe las distorsiones de tipo analógico en el proceso analógico a digital (A/D) y digital a analógico (D/A) con lo cual mejora la calidad de la señal.

Comúnmente el medio de emisión típico está basado en tecnología analógica. Sin embargo, desde los comienzos de los 80's, los equipos de audio digital regularmente han estado reemplazando los equipos de audio analógicos en sistemas de emisión y producción.

Este equipo digital, caracterizado con salidas y entradas analógicas, es diseñado para reemplazar directamente un dispositivo analógico y operar en un ambiente analógico. Sin embargo, la tendencia en tecnología de emisión y producción es hacia el estudio completamente digital, en el cual todos los aspectos de grabación, procesamiento y transmisión se llevan en el dominio digital. Para este fin, el protocolo de transmisión universal, definido en estándares AES/EBU, permite a todos los equipos transmitir y recibir una forma reconocida de audio digital.

La integración de equipo digital en un ambiente analógico requiere que las señales analógicas sean convertidas a digital y viceversa. El proceso de audio digital llega a ser atractivo si el proceso A/D resulta en una insignificante degradación de la señal, la complejidad de implementación es razonable, y el formato digital es adecuado para grabación y transmisión.

**Principios de Conversión A/D.** En la actualidad, el transductor estándar de audio, el micrófono y el altavoz son dispositivos analógicos. Así que, las señales eléctricas en tiempo continuo deben ser convertidas en un formato numérico en tiempo discreto para el procesamiento digital de la señal.

El convertidor A/D es el factor principal que afecta el nivel de calidad accesible en audio digital, esto también limita el rango dinámico y la distorsión de armónicos de la señal analógica recuperada.

**Muestreo Ideal.** El muestreo consiste en medir la amplitud de una onda analógica en intervalos periódicos. La medición exacta es determinada por la frecuencia de muestreo, cuyo valor es un compromiso entre la medición exacta compleja y el costo de digitalizar, almacenar y transmitir una cantidad larga de datos.

El proceso de muestreo consiste en dividir la señal analógica con un flujo de pulsos de tiempo-repetitivo transmitidos a la frecuencia de muestreo. Para simplificar la descripción de este proceso, consideraremos un caso de muestreo ideal donde la duración del pulso de muestreo es cercano a cero. Este proceso es conocido como modulación de amplitud de pulsos (PAM) y es representado en el dominio del tiempo en la fig. 2-4 y en el dominio de la frecuencia en la fig. 2-5. Ambas figuras son similares con el proceso de modulación en amplitud. Sin embargo, en el dominio de la frecuencia, múltiplos de la frecuencia de muestreo aparecen con sus propias bandas laterales. Esto es por que la portadora no es una señal senoidal sino una serie de pulsos a la frecuencia de muestreo.



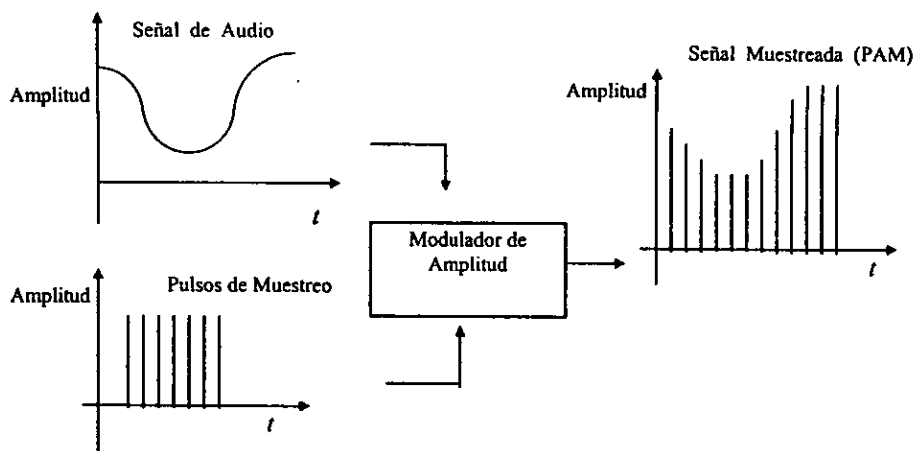


Figura 2-4 Modulación PAM en el dominio del tiempo

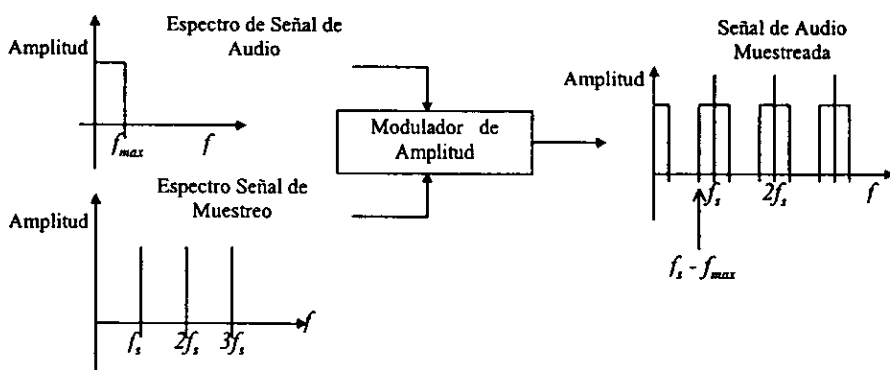


Figura 2-5 Modulación PAM en el dominio de la frecuencia

Para en el proceso de demodulación de amplitud la fig. 2-6 muestra que la señal analógica es recuperada (demodulada) usando un filtro paso bajas.

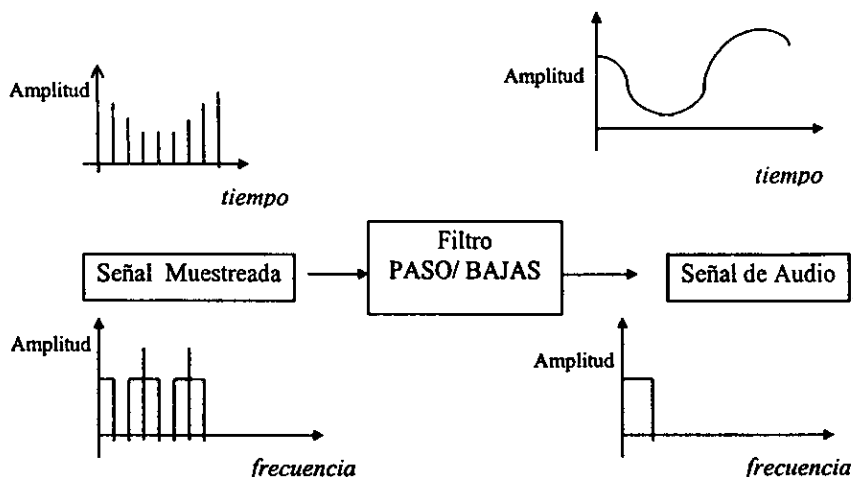


Figura 2-6 Demodulación de las Señales

Si  $f_{max}$  es la máxima frecuencia del espectro de la señal analógica y  $f_s$  la frecuencia de muestreo, las bandas laterales baja y alta son limitadas en frecuencia por  $(f_s + f_{max})$  y  $(f_s - f_{max})$  respectivamente. En la figura 2-7 es fácil entender el teorema de Nyquist, el cual estipula que una mínima velocidad de muestreo de  $2f_{max}$  muestras por segundo es requerida para reconstruir una señal analógica de banda  $f_{max}$ . Si la frecuencia de muestreo  $f_s$  es baja, la banda lateral más baja se traslapa en el espectro de banda base de audio. Este fenómeno llamado interferencia espectral (aliasing), es mostrado en la figura 2-7. Violar el teorema de Nyquist resulta en submuestreo. El submuestreo genera interferencia espectral y ocurre cuando la frecuencia de muestreo usada es más baja que dos veces la frecuencia más alta de la señal analógica o cuando la frecuencia más alta en la señal analógica excede  $f_s/2$ . Para evitar la interferencia espectral dada una frecuencia de muestreo  $f_s$ , la señal analógica debe ser limitada en banda a  $f_s/2$  antes de la conversión A/D.

Cuando ocurre la interferencia espectral, la reconstrucción de la señal analógica de la señal PAM ( en el convertidor D/A) genera una interferencia espectral de la frecuencia mas alta que  $f_s/2$  dentro de la señal en bandabase reconstruida. Estas componentes de frecuencia de la interferencia espectral dan como resultado una versión metálica del sonido original. La figura 2-7 muestra el "espectro de interferencia espectral" y la distorsión de la señal analógica reconstruida.

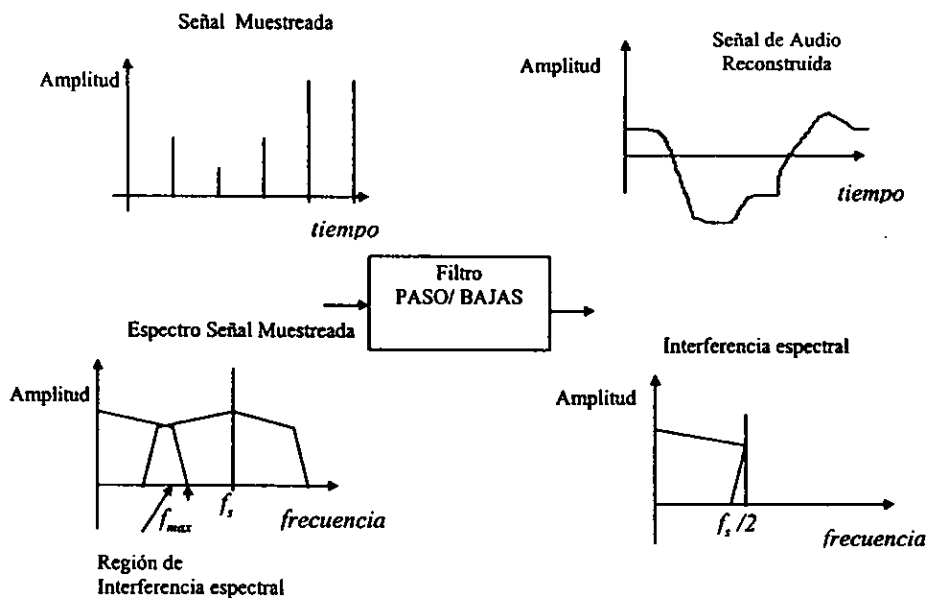


Fig. 2-7 Señal de audio reconstruida y generación de interferencia espectral.

**Muestreo Real.** El muestreo ideal abordado anteriormente supone que el pulso de muestreo tiene una duración cercana a cero. Para dar tiempo a la conversión A/D, el valor de amplitud del pulso de cada muestra es mantenido hasta que la muestra próxima llega, la cual genera una representación de escalera de la señal de audio analógica, como se muestra en la fig.2-8, esta duración es igual a un periodo de muestreo  $1/f_s$ .

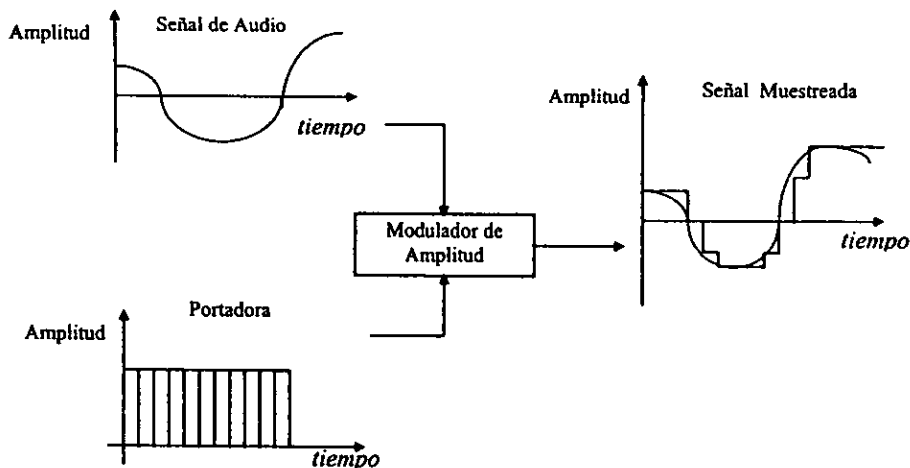


Figura 2-8 Muestreo real en el dominio del tiempo

El resultado de la respuesta en frecuencia del proceso mantenido es la transformada de Fourier del pulso muestreado. Esto resulta en atenuación de las frecuencias altas y es conocido como error de apertura [8]. La atenuación es similar a la de un filtro con una respuesta en frecuencia de  $(\text{sen } x)/x$ . El espectro de la señal muestreada presenta nulos en múltiplos de frecuencia de muestreo como se observa en la figura 2-9.

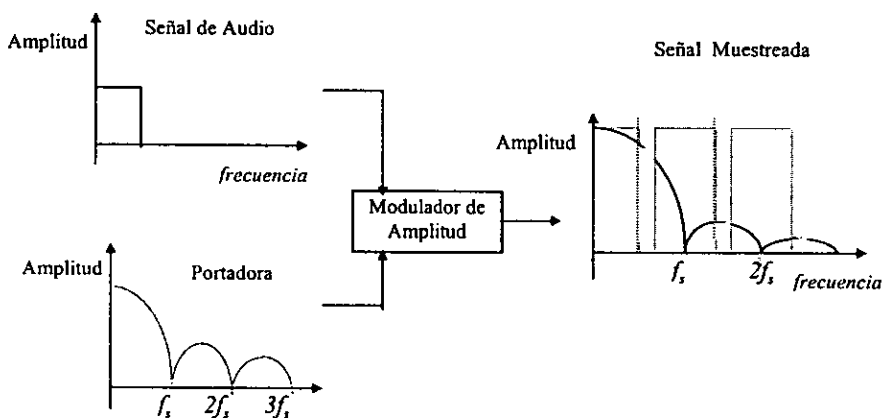


Figura 2-9 Muestreo en el dominio de la frecuencia

**Cuantización.** A cada muestra de la señal analógica original se le asigna un elemento de un código binario digital mediante un dispositivo llamado Cuantizador. En un sistema lineal de 4 bits, por ejemplo, hay 16 posibles valores binarios para codificar la amplitud del pulso de cada muestra. En el ejemplo mostrado en la fig.2-10, la señal senoidal es medida en cada tiempo de muestreo. Como hay 16 valores binarios discretos para describir la amplitud de cada muestra, la amplitud real puede caer entre dos valores binarios discretos. En este caso, el valor más cercano es seleccionado y un error de cuantización es generado, éste corresponde a la diferencia entre la forma de onda original y la representación de escalón de la señal muestreada, como lo ilustra la figura.

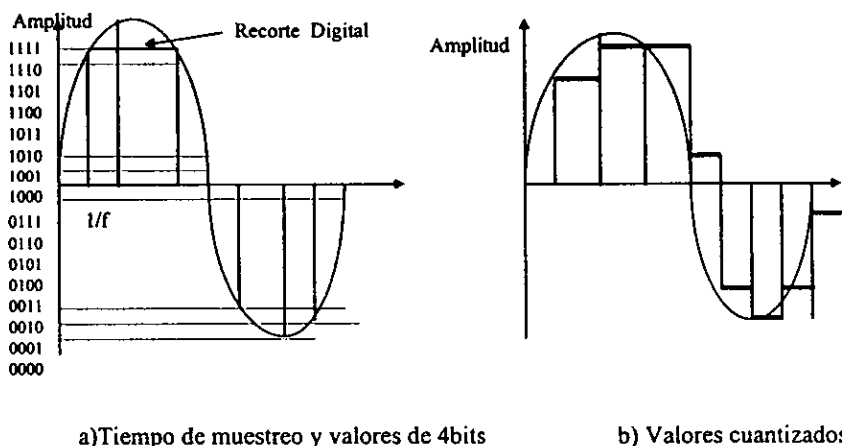


Figura 2-10

La amplitud del error de cuantización máxima es igual a la mitad de un escalón de cuantización cuando el cuantizador asigna el valor binario discreto más cercano, como muestra la figura 2-11. En el instante  $T_1$  se genera un valor que cae exactamente entre dos niveles de cuantización. En este instante, el error de cuantización es máximo y el cuantizador puede generar un valor binario inmediatamente debajo o arriba del valor medido. La pequeña cantidad de ruido existente en la señal original suma componentes indeseadas, especialmente cuando el valor muestreado está en medio de dos niveles de cuantización. El error resultante en la señal original produce una calidad áspera o granular en el sonido. En una aproximación, puede suponerse que no hay relación entre el error de una muestra y el error de la siguiente. El resultado es un espectro de error de cuantización

plano con energía igual en todas las frecuencias [9], lo cual es característico del ruido blanco.

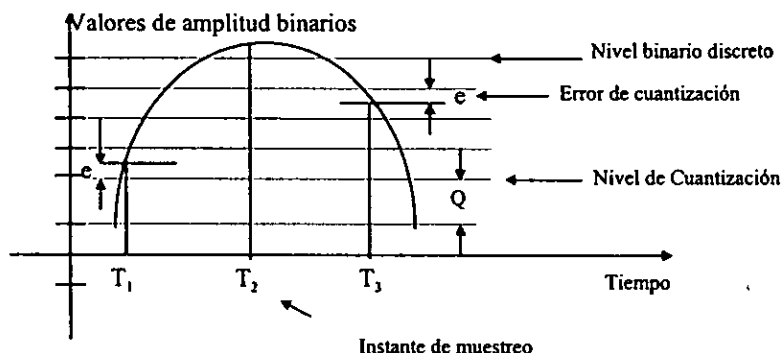


Figura 2-11 Error de cuantización.

La relación señal a ruido de cuantización (S/N) es expresada como la relación de la señal senoidal máxima (abajo del recorte) con el valor RMS del error de cuantización. Para un convertidor A/D de  $n$ -bits la mitad de los intervalos de cuantización  $2^{n-1}$  son usados para una polaridad de la onda senoidal. El máximo valor de la onda senoidal RMS ( $V$ ) es entonces;

$$V = \frac{2^{n-1} Q}{\sqrt{2}}$$

Donde  $Q$  es la amplitud de un intervalo de cuantización y  $(2^{n-1})$  representa la mitad de los intervalos de cuantización  $2^n$ .

Una señal de audio con un espectro ancho y valores de amplitud alta producen una señal de error de cuantización con una distribución de probabilidad plana para cualquier valor entre  $+Q/2$  y  $-Q/2$  como muestra la fig. 2-12 [10]. Hay por lo tanto  $Q$  valores indeseables en un intervalo de cuantización, el cual genera un espectro de error plano, y la probabilidad para cada valor es igual a  $1/Q$ . El valor RMS del ruido cuantizado es expresado como la raíz cuadrada de la media de la suma de los errores al cuadrado.

- Suma de los errores al cuadrado =  $\int_{-Q/2}^{Q/2} e^2 de$

- Media de la suma =  $\frac{1}{Q} \int_{-Q/2}^{Q/2} e^2 de$

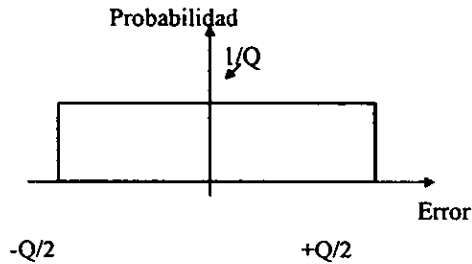


Fig. 2-12

- La raíz cuadrada de la media :

$$\text{Voltaje de ruido (RMS)} = \sqrt{\frac{1}{Q} \int_{-Q/2}^{Q/2} e^2 de} = \frac{Q}{\sqrt{12}}$$

La relación de los valores RMS de la señal y el ruido de cuantización es expresado como:

$$S/N = \frac{V}{N} = \frac{2^{n-1} Q}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{12}}{Q} = 2^n \sqrt{1.5}$$

$$S/N \text{ (dB)} = 6.02 n + 1.76$$

Como ejemplo, un convertidor A/D de 16 bits produce una S/N cercano a los 98 dB. Convertidores recientes de 20 bits tienen un S/N de 122 dB [11]. Sin embargo, esta relación no es verdadera en la presencia de señales analógicas senoidales con niveles bajos.

**Codificación.** Cada valor binario cuantificado es codificado en una forma adaptada al tipo de señal muestreada, la transmisión y requerimientos de grabación. Los sistemas de codificación más usados son modulación de código de pulso (PCM), modulación de ancho de pulso (PWM), modulación delta adaptada (ADM) y PCM diferencial (DPCM). El sistema de codificación mas ampliamente usado es el PCM, pero este es también el menos eficiente. PCM cuantifica linealmente todos los intervalos por medio de una escala fija sobre el rango de amplitud de la señal. La resolución de la conversión A/D determina el numero de intervalos cuantificados disponibles para la codificación de la amplitud de la señal analógica. Todos los niveles de cuantificación son palabras de código asignadas en un orden progresivo.

## **2.3 Señal de Video.**

Una imagen fija es fundamentalmente una ordenación de muchas áreas pequeñas oscuras y luminosas. En una impresión fotográfica los granos finos de plata proporcionan las diferencias en cuanto a luz y sombra necesarias para producir la imagen en blanco y negro. Esta estructura básica de una imagen es evidente en las fotografías de los periódicos. Cada área pequeña de luz o sombra es un elemento de imagen o un detalle de imagen.

La imagen de video en una televisión es explorada sucesivamente en una serie de líneas horizontales, una debajo de otra. Esta exploración hace posible que una señal de video incluya todos los elementos necesarios para la imagen completa.

### **2.3.1 Video Analógico.**

Para obtener una señal de video que transmita todas las variaciones de luz y sombra, se exploran todos los detalles de imagen en un orden secuencial de tiempo. La exploración se efectúa de la misma manera que la lectura, para cubrir todas las palabras de una línea y todas las líneas de la página. Todos los elementos de imagen son explorados en orden sucesivo, de izquierda a derecha y de arriba abajo, línea por línea. El número de líneas de exploración de una imagen completa debe ser grande con el fin de que incluya el mayor número posible de elementos de imagen, y por consiguiente más detalle; ha sido estandarizada esta exploración en un total de 525 líneas por cuadro o imagen completa (norma NTSC). La exploración realiza un movimiento lento hacia abajo mientras realiza el



movimiento de un lado a otro; este movimiento vertical en la exploración es necesario para que no sean exploradas las líneas una sobre otra. La exploración horizontal produce las líneas de izquierda a derecha, mientras que la exploración vertical esparce las líneas a fin de llenar el cuadro. La exploración vertical se efectúa al ritmo de 30 cuadros por segundo es decir a 30 Hz; este valor es exactamente la mitad de la frecuencia de la línea de distribución eléctrica de 60 Hz. La velocidad de cuadro de 30 por segundo significa que son exploradas 525 líneas, correspondientes a un cuadro completo, en 1/30 s. La impresión causada por cualquier luz que percibe el ojo persiste durante una pequeña fracción de segundo después de extinguida la fuente de luz, si el ojo percibe muchas imágenes durante este intervalo de persistencia de la visión, las integrará y producirá la impresión de que se ven todas las imágenes al mismo tiempo. Es el efecto de persistencia lo que hace posible televisar un elemento básico de una imagen en cada instante. Cuando los elementos son explorados con suficiente rapidez, el ojo los percibe como una imagen completa. La velocidad de repetición de imágenes de 30 por segundo no es suficientemente rápida para resolver el problema del parpadeo con los altos niveles de iluminación que se presentan en la pantalla del tubo de imagen. La solución es que cada cuadro se divide en dos partes, de modo que se presentan 60 imágenes de la escena durante cada segundo. La división de cuadro en dos partes se logra entrelazando las líneas de exploración horizontal en dos grupos, uno con líneas de número impar y otro con líneas de número par; a cada grupo se le llama campo. La velocidad de repetición de los campos es de 60 por segundo, ya que durante un periodo de cuadro de 1/30 s son explorados dos campos.

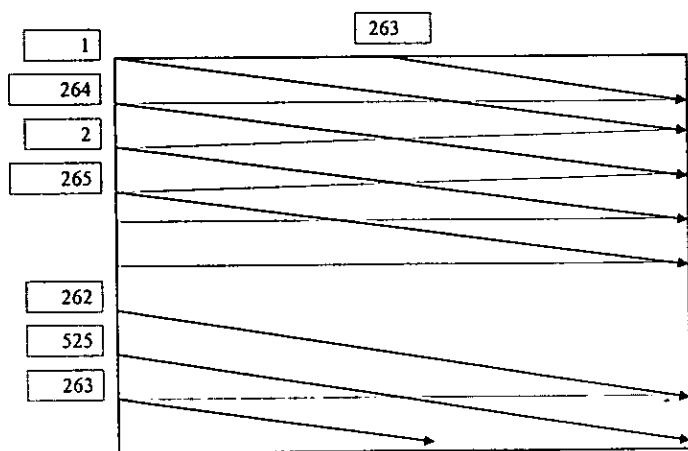


Figura 2-13 Exploración Entrelazada

La velocidad de campo de 60 Hz es la frecuencia de barrido o exploración vertical. Este es el ritmo con que el haz electrónico completa su ciclo de movimiento vertical desde la parte superior hasta la parte inferior y vuelve nuevamente a la parte superior. El tiempo de cada ciclo de exploración vertical de un campo es  $1/60$  s. Considerando que hay 525 líneas en dos campos sucesivos, que constituyen un cuadro, podemos multiplicar por 525 la velocidad del cuadro de 30 y esto nos da como resultado 15,750 líneas exploradas en un segundo, esta frecuencia de 15,750 Hz es la velocidad a la que el haz electrónico completa su ciclo de movimiento horizontal de izquierda a derecha y vuelve a la izquierda nuevamente.

**Señal de Video Compuesta.** La señal de video compuesta incluye las siguientes partes: la señal de imagen deseada, pulsos de sincronización para sincronizar la exploración del transmisor y la del receptor, pulsos de borrado para que los retornos no sean visibles en la exploración. Además para video a color se incluyen la señal de crominancia de 3.58 Mhz y la subportadora de color (bursts) o pulso de sincronismo de color. En la figura 2-14 están representados valores de amplitudes de tensión o corriente para la exploración de tres líneas horizontales en una imagen blanco y negro. La amplitud de la señal de video está dividida en dos secciones, el 75% inferior se utiliza para la señal de cámara y el 25% superior para los pulsos de sincronismo. En la señal de cámara las amplitudes más bajas corresponden a las partes más blancas de la imagen, mientras las partes más oscuras de la imagen tienen amplitudes más altas. Por esto se transmite la señal utilizando un estándar de polarización negativa. Transmisión negativa significa que las partes blancas de la imagen están representadas por amplitudes bajas en la señal portadora de imagen transmitida. Las amplitudes más altas corresponden a información de imagen progresivamente más oscura hasta alcanzar el nivel de negro.

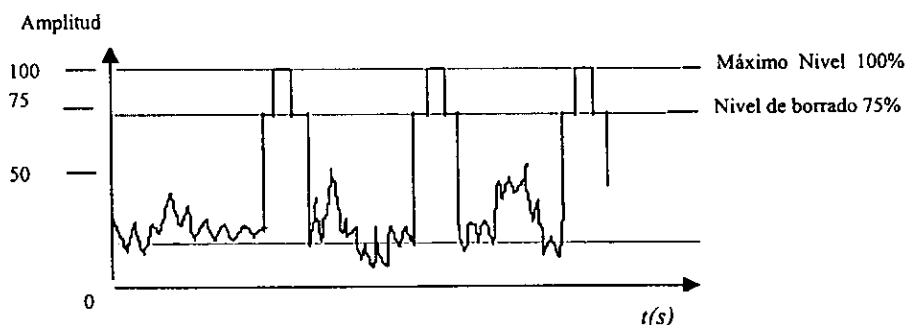


Figura 2-14 Exploración Horizontal

Analizando la figura 2-14 empezando en el extremo de la izquierda de la figura en el instante cero, la señal está en un nivel de blanco y el haz explorador esta en el lado izquierdo de la imagen. Cuando es explorada la primera línea de izquierda a derecha, son obtenidas las variaciones de señal de cámara con varias amplitudes que corresponden a la información de imagen requerida. Después de que la traza horizontal produce la señal de cámara para una línea, el haz de exploración esta en el lado derecho de la imagen. Luego es insertado el pulso de borrado para que la amplitud de señal de video alcance el nivel de negro y pueda ser borrado el retroceso o retorno. Después de transcurrido un tiempo de borrado suficientemente largo para que quede incluido el retorno, la tensión de borrado se suprime, ya que el haz explorador está en el lado izquierdo listo para explorar la línea siguiente. Cada línea horizontal es explorada sucesivamente de esta manera. El tiempo de exploración de una línea completa incluye la traza y el retorno, y es igual a  $1/15,750$  segundos o  $63.5 \mu s$ ; el tiempo de borrado horizontal es aproximadamente  $10 \mu s$ , restándolo de  $63.5 \mu s$  obtenemos  $53.5 \mu s$  como tiempo disponible para la exploración visible sin borrado, en cada línea. Los  $10 \mu s$  dan el tiempo suficiente para el retorno. En la figura 2-15 están representados los detalles del periodo de borrado horizontal y borrado vertical, los pulsos de borrado vertical aumentan la amplitud de la señal de video hasta el nivel de negro, por lo que el haz explorador es borrado durante el retorno vertical. La anchura del pulso de borrado vertical es igual a  $1,333 \mu s$ ; este tiempo es suficientemente largo para incluir varias líneas de exploración completas. Si dividimos el tiempo de borrado vertical  $1,333 \mu s$  por el período total de línea de  $63.5 \mu s$  obtenemos como cociente 21; por tanto son borradas 21 líneas de cada campo, es decir 42 líneas por cuadro. Los pulsos de sincronismo insertados en la señal de video compuesta durante el ancho del pulso de borrado vertical incluyen los de igualación, sincronismo vertical y algunos de sincronismo horizontal. Las señales están representadas para los intervalos de tiempo comprendidos entre el final de un campo y el comienzo del siguiente, e ilustran lo que ocurre durante el tiempo de borrado vertical.

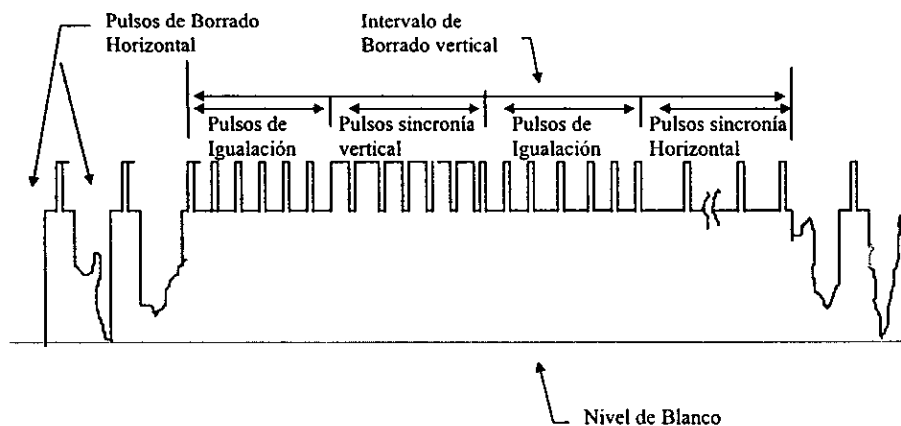


Figura 2-15 Borrado Horizontal y Vertical

Para una señal de video a color, la señal de video compuesta incluye la señal de crominancia de 3.58 Mhz en la figura 2-16 se muestra, en (a) sólo representa señal en blanco y negro, en (b) la señal de video tiene añadida la señal de crominancia de 3.58 Mhz y tiene en el pórto posterior del pulso de sincronismo horizontal una subportadora (burst) de sincronismo de color. Esta subportadora de sincronismo consiste en 8 a 11 ciclos de la subportadora de color de 3.58 Mhz; su objetivo es sincronizar el oscilador de color de 3.58 Mhz del receptor. El burst y la señal de Crominancia (C) son ambos de 3.58 Mhz, pero el burst no tiene información de imagen, ya que sólo esta presente durante el tiempo de borrado.

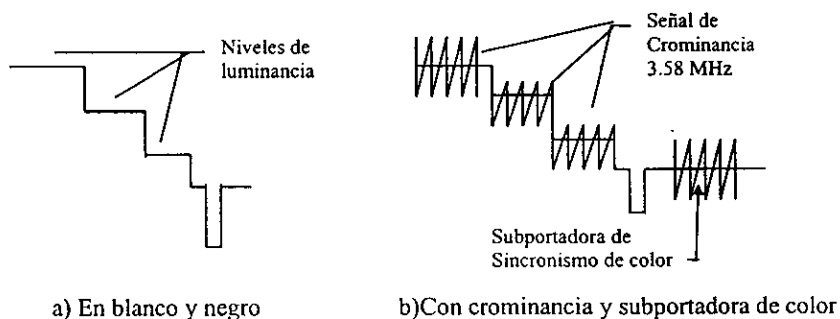


Fig. 2-16 Señal de video compuesta.

En la práctica se pueden producir todos los colores con la combinación de los colores primarios rojo (R), verde (G) y azul (B). En la televisión las tensiones de la señal de video corresponden a los colores. En el transmisor la luz de diferentes colores se convierte en las diferentes tensiones de señal de video. El tubo de imagen del receptor convierte las tensiones de video de color en sus respectivos colores. Una cámara de color tiene diferentes tubos para los colores verde, rojo y azul. La pantalla del tubo de imagen de color tiene rojo, verde y azul para reproducir estos colores. Para la difusión de señal de video a color estas señales de color no son compatibles para sistemas en blanco y negro; por lo que las señales de video de color son codificadas mediante su combinación en proporciones específicas. El resultado final de la decodificación es la formación de dos señales separadas: la señal de crominancia (C) para el color y la señal de luminancia o brillo Y para información de blanco y negro. La crominancia (C) es un término que se usa para indicar el matiz y la saturación de un color. En televisión a color, la señal de color de 3.58 Mhz es la señal de crominancia; la crominancia incluye toda la información de color, sin el brillo. La luminancia Y indica la intensidad de la luz que es percibida por el ojo humano como brillo. En una imagen en blanco y negro, las partes más claras tienen mas luminancia que las partes oscuras. Los diferentes colores tienen también sombras de luminancia, ya que algunos colores aparecen más brillantes que otros. La señal Y se forma sumando las señales de color primarios rojo, verde y azul, en las proporciones:

$$Y = 0.30R + 0.59 G + 0.11 B$$

Estos porcentajes corresponden al brillo relativo de los tres colores primarios. Los principales tipos de señales para video de color son las derivadas de las tensiones de color R, G,y B. Para la codificación y decodificación se emplean mezclas de estos colores con el fin de que dos señales de mezcla de color puedan contener toda la información de color de los tres primarios, permitiendo que la tercera señal sea la señal de luminancia Y.

En el sistema de video por componentes Y, Q e I; la señal I se produce en la matriz del transmisor por la siguiente combinación de colores :

$$I = 0.60R - 0.28 G - 0.32B$$

El signo menos indica la adición de tensión de video de polaridad negativa. La señal Q esta formada por las tensiones de color que se combinan en la matriz del transmisor con la siguiente proporción:

$$Q = 0.21R - 0.52G + 0.31B$$

Las componentes positivas de 0.21R y 0.31B totalizan 0.52 que es igual a la componente negativa de -0.52G; se eligen estos valores para que la amplitud de la señal Q sea cero para el blanco. Ambas señales I y Q son cero para el blanco, ya que no hay información de crominancia en éste. La información de luminancia para sombras de blanco está en la señal Y.

En el sistema de video por componentes B-Y, R-Y, Y; la señal B-Y tiene una matiz principalmente azul pero es una mezcla de color a causa de la componente -Y, esta señal tiene las siguientes combinaciones:

$$B-Y = -0.30R - 0.59G + 0.89B$$

La señal R-Y tiene un matiz rojo púrpura, combinando rojo con las componentes primarias de la señal Y resulta:

$$R - Y = 0.70R - 0.59G - 0.11B$$

### 2.3.2 Video Digital.

Las redes de telecomunicaciones del mundo serán todas digitales dentro del marco de los 90's. El rumbo para digitalizar la señal de televisión es usar modulación de código de pulso con 8-bits (PCM) [12] con cuantización lineal. Por ejemplo, si muestreamos una señal de 4.2 MHz a la velocidad de Nyquist y asignamos 8 bits por muestra, derivamos una señal de datos a 67.2 Mbps [13]. Si vamos a transmitir TV en la red digital sería deseable tener la tasa de bit semejante a una tasa dentro de las jerarquías digitales actuales.

Algunos esquemas de digitalización para video sugeridos por la CCIR son:

El Reporte 601 CCIR el cual describe dos conceptos de código digital distintos para televisión a color: codificación por componentes y compuesta.

A partir de las cuatro componentes que integran una señal de video a color, estas son: R para rojo, G para verde, B para azul y Y para luminancia, la señal de salida de una cámara

es convertida por una matriz lineal en luminancia (Y) y dos señales de diferencia de color, R-Y y B-Y.

Con el método de componentes esas señales son individualmente digitalizadas por un convertidor A/D. Los grupos de bits digitales resultantes son entonces combinados con pulsos adicionales y de sincronización por medio de un multiplexor para transmitir sobre un solo medio tal como un par de cables o cable coaxial.

La codificación compuesta, tal como el término indica, codifica directamente la entrada de video en banda base. El grupo de bits derivados tiene una notable tasa de bits mas baja que la derivada en la codificación por componentes.

El Reporte 646-3 CCIR compara las dos técnicas de codificación. Las características de la codificación por componentes son:

- La entrada al circuito es proporcionada en forma de componentes separadas por las fuentes de señal.
- La codificación por componentes es adoptada generalmente en estudios, y el avance inherente de señales por componentes para estudios debe ser mantenida en el enlace de transmisión con el fin de permitir procesamiento descendiente en un estudio de recepción.
- La región recibe la señal vía un circuito internacional que usa un sistema diferente de color al usado en la región de origen.
- La trayectoria de la transmisión es completamente digital la cual se adapta con la tendencia de sistemas digitales que continuaran.

Las características de la transmisión en forma compuesta son:

- La entrada al circuito es de forma compuesta desde la fuente de la señal.
- El sistema de color usado por el receptor en el caso de un circuito internacional es el mismo que el usado en la región de origen.

#### **Reducción de la velocidad en Bits/seg.**

La CCIR discute sistemas de televisión digital que son basados en PCM con velocidades de 120 a 240 Mbps. Cuando el ancho de banda es importante, la transmisión sobre largas

distancias puede requerir métodos de reducción de velocidad de bit con el fin de reducir los costos de transmisión. La elección de la técnica depende del desempeño de la misma y el costo del equipo. El reporte 646-3 CCIR expresa que tres básicos métodos de reducción de velocidad de bit pueden ser empleados:

- 1) Supresión de los intervalos de borrado horizontal y/o vertical.
- 2) Reducción de frecuencia de muestreo.
- 3) Reducción del número de bits por muestra.

Uno de los sistemas prácticos para la transmisión de video es:

El llamado Imagen Congelada (Freeze-Frame) donde podemos transmitir imágenes de video sobre circuitos de datos en 2400, 4800 o 9600 bps. Freeze-frame es un método de imágenes de video transmitidas en estándar para razones de datos de canal telefónico de voz como 2400, 4800, y 9600 bps o puede ser transmitido en forma analógica usando FM.

La señal de sincronía en la señal de video es usada para crear las señales de sincronismo y direccionamiento de memoria necesarias para operar una memoria digital en tasas de video en tiempo real. La porción de video o imagen de la señal es alimentada a un convertidor A/D de alta velocidad. El flujo de datos digital paralelo es almacenado en una memoria digital. Esta es la porción freeze- frame del sistema.

El circuito de direccionamiento de velocidad rápida y sincronismo lee los datos de la memoria y los datos son alimentado a un convertidor D/A que los convierte de vuelta a una señal de televisión analógica estándar que puede ser desplegada en un monitor.

Un módulo de baja velocidad de sincronismo y direccionamiento es responsable de la transmisión real de la imagen. Este circuito puede estar sincronizado por un submúltiplo del circuito de alta velocidad de sincronismo y direccionamiento o por el mismo circuito de transmisión real. El circuito de baja velocidad de sincronismo y direccionamiento es responsable de leer la imagen en memoria con una velocidad compatible con la velocidad de la trayectoria de transmisión usada.

La baja tasa de datos saliendo de la memoria puede ser tratada en varias formas antes de que esté presente en la trayectoria de transmisión. Los datos en paralelo pueden ser convertidos en una señal analógica y ésta es modulada en una forma adecuada para la



trayectoria de transmisión. Los datos en paralelo pueden también ser convertidos en un flujo de datos en serie para presentación en un canal de voz analógico usando un módem de datos estándar o en un canal subtipo digital.

Los datos pueden ser procesados en un circuito de compresión opcional para acelerar el tiempo de transmisión en la trayectoria usada.

En la recepción final, los datos en serie de baja velocidad son convertidos nuevamente en datos en paralelo usando el proceso contrario empleado en la transmisión final del circuito. Estos datos son escritos en una memoria digital usando el mismo circuito de baja velocidad de sincronismo y direccionamiento usado en el transmisor. Éste lee la memoria en un convertidor de alta velocidad que convierte los datos digitales de memoria en una señal de televisión analógica adecuada para ver en un monitor de TV.

Hay muchas variables a ser consideradas en un sistema de transmisión de video freeze-frame. La resolución de las imágenes a ser transmitida es controlada principalmente por el tamaño de memoria. El tiempo de transmisión si la imagen es a color o en blanco y negro. En general la transmisión a color requiere más tiempo de transmisión que la transmisión en blanco y negro. El ancho de banda del medio de transmisión o la tasa de bits puede soportar afectaciones en el tiempo de transmisión. Para un tamaño de matriz de pixeles dada (256 X 256) un canal de 64 kbps puede transmitir mucha más imágenes por unidad de tiempo que un canal de 4800 bps.

Algoritmos de compresión pueden también reducir el tiempo de transmisión. Sin embargo algunos algoritmos pueden causar varias formas de degradación en la calidad de la imagen.

## **2.4 Datos**

La comunicación de datos es el proceso de transferir información digital (normalmente en forma binaria) entre dos o más puntos. Los datos pueden ser cualquier información alfabética, numérica o simbólica, incluyendo los símbolos alfanuméricos codificados en binario, códigos operacionales del microprocesador, códigos de control, direcciones de usuario, datos del programa o información de base de datos. En la fuente y el destino, los datos están en forma digital.

La información binaria se puede transmitir de forma paralela o serie. La figura 2-17 muestra estas dos formas:

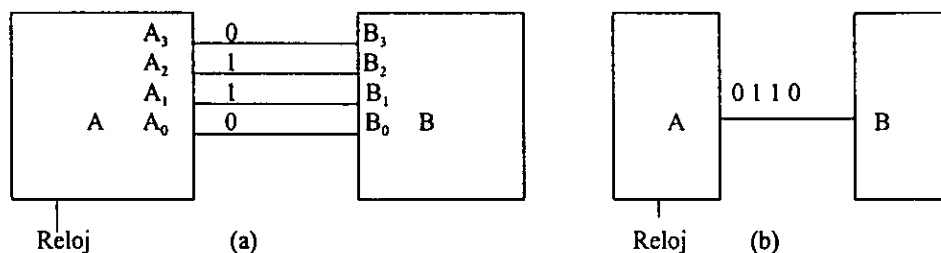


Figura 2-17 Transmisión de datos en paralelo y en serie.

Como muestra la figura (a), cada posición del bit (\$A\_0\$ a \$A\_3\$) tiene su propia línea de transmisión, en forma paralela, consecuentemente los 4 bits se pueden transmitir simultáneamente durante el tiempo de un solo pulso de reloj. En la figura (b) existe una sola línea de transmisión y por lo tanto, sólo un bit puede transmitirse a la vez, consecuentemente se necesitan cuatro pulsos de reloj, para transmitir todos los datos. El intercambio principal entre la transmisión paralela y la serial es la velocidad contra la simplicidad. La transmisión de datos se puede lograr mucho más rápido usando la transmisión paralela. Sin embargo, la transmisión paralela requiere de mayor número de líneas entre la fuente y el destino; por esto la transmisión paralela se usa para la comunicación en distancias cortas, mientras que para distancias largas se utiliza la transmisión serial.

#### 2.4.1 Códigos de Datos.

Los códigos de datos son secuencias de bits predefinidas usadas para codificar caracteres y símbolos. Consecuentemente los códigos de comunicación de datos se llaman conjuntos de caracteres, códigos de símbolo o lenguaje de caracteres. Existen básicamente tres tipos de caracteres usados en los códigos: caracteres de control de enlace de datos, los cuales se usan para el flujo ordenado de información de una fuente a un destino; caracteres de control gráfico, los cuales involucran la síntesis o presentación de la información en la terminal de recepción; y caracteres alfa numéricos, los cuales se usan para presentar los

múltiples símbolos usados para letras, números y puntuaciones en el lenguaje. El primer código de datos que tuvo un uso amplio fue el código Morse. El código Morse usaba tres símbolos de longitud desigual ( punto, guión, y espacio), para codificar caracteres alfa numéricos, signos de puntuación y una palabra de interrogación.

Los tres conjuntos de caracteres más comunes actualmente usados para la codificación de caracteres son: el código Baudot, el código ASCII ( código estándar americano para el intercambio de información) y el código EBCDIC (código de intercambio de decimal codificado en binario extendido).

El Código Baudot ( código Telex) fue el primer código de caracteres de tamaño fijo. Este código fue desarrollado por un ingeniero francés, Thomas Murray en 1875 [14], fue un pionero en la impresión telegráfica. El código Baudot es un código de caracteres de 5 bits que se usa principalmente para equipo de teletipo de baja velocidad, tal como el sistema TWX/Telex. Con el código de 5 bits existen sólo 32 combinaciones posibles, las cuales son insuficientes para representar las 26 letras del alfabeto, los 10 dígitos y los diversos signos de puntuación, así como caracteres de control. Por lo tanto el código Baudot usa caracteres de cambio de posición de letra, para expandir su capacidad a 58 caracteres. La ultima versión de este código está recomendada por la CCITT como el Alfabeto Internacional No. 2.

El código ASCII surge como un esfuerzo por estandarizar los códigos de comunicación de datos en 1963. Estados Unidos adoptó el código ASCII - 63 del sistema Bell como el código para intercambio de información estándar de Estados Unidos de América. Desde su adopción el código ASCII ha progresado genéricamente por las versiones de 1965, 1967 y 1977. ASCII es un conjunto de caracteres de 7 bits que tiene  $2^7$  ó 128 combinaciones. Con ASCII el bit menos significativo (LSB) se designa como  $b_0$  y el más significativo (MSB) se designa como  $b_6$ . El  $b_7$  no es parte del código ASCII, pero generalmente se reserva para el bit de paridad.

El código EBCDIC es un código de caracteres de 8 bits desarrollado por IBM, se usa extensamente en IBM y equipo compatible con IBM. Con 8 bits, son posibles  $2^8$  ó 256 combinaciones, haciendo que EBCDIC sea el conjunto de caracteres más poderoso. En EBCDIC el LSB se designa como  $b_7$  y se transmite primero y el bit MSB se designa como  $b_0$  y se transmite al final.

**Control de Errores.** Debido a las características no ideales que están asociadas con cualquier sistema de comunicación, es inevitable que ocurran errores y es necesario desarrollar e implantar procedimientos para el control de errores. El control de errores puede dividirse en dos categorías generales: detección de errores y corrección de errores.

**Detección de errores.** Es el proceso de monitorear la información recibida y determinar cuando un error de transmisión ha ocurrido. Las técnicas de detección de errores no identifican cual bit o bits son erróneos, solamente indica que ha ocurrido un error. Las técnicas de detección de errores más comunes son: Redundancia, Codificación de cuenta exacta, Paridad, Chequeo de redundancia vertical y longitudinal, y chequeo de redundancia cíclica.

- Redundancia, este involucra transmitir cada carácter dos veces. Si el mismo carácter no se recibe dos veces sucesivamente, ha ocurrido un error de transmisión.

- Codificación de cuenta exacta, el número de unos, en cada carácter, es el mismo, por lo tanto una cuenta sencilla de la cantidad de unos recibidos, en cada carácter, determina si ha ocurrido un error de transmisión.

- Paridad, este es el método más sencillo para detección de errores y se usa con chequeo de redundancia vertical y horizontal. Con la paridad, un solo bit ( llamado bit de paridad) se agrega a cada carácter para forzar el total de números unos en el carácter, incluyendo el bit de paridad, para que sea un número impar ( paridad impar) o un número par ( paridad par).

- Chequeo de redundancia vertical (VRC), es un esquema de detección de errores que usa la paridad para determinar si un error de transmisión ha ocurrido dentro de un carácter. Por lo tanto, el VRC a veces se llama paridad de carácter. Con el VRC, cada carácter tiene un bit de paridad agregado a él, antes de la transmisión, puede usar paridad par o impar.

- Chequeo de redundancia horizontal y longitudinal (HRC o LRC), es un esquema de detección de error que utiliza la paridad para determinar si un error de transmisión ha ocurrido en un mensaje, y a veces es llamado paridad de mensaje. Con el LRC cada posición de bit tiene un bit de paridad. Esencialmente el LRC es el resultado de usar la compuerta XOR con los caracteres que componen un mensaje, mientras que el VRC es el uso de XOR en bits con un solo carácter. Con el LRC, sólo se usa la paridad par.

- Revisión de redundancia cíclica (CRC), es el esquema más confiable para la detección de errores, con CRC aproximadamente el 99.95% de todos los errores de transmisión se detectan. El CRC se usa generalmente con códigos de 8 bits, tales como EBCDIC. En Estados Unidos el código CRC más común es el CRC-16, en el cual se usan 16 bits para una secuencia de chequeo de bloque (BCS). Esencialmente, el carácter CRC es el sobrante de un proceso de división. Un mensaje de datos polinómico  $G(x)$  se divide entre un polinomio generador  $P(x)$ , el cociente se descarta, y el residuo se trunca en 16 bits y se agrega al mensaje. El polinomio generado para CRC-16 es

$$P(x) = X^{16} + X^{12} + X^5 + X^0$$

**Corrección de Errores.** Esencialmente hay tres métodos de corrección de errores: sustitución de símbolos, retransmisión y seguimiento de corrección de un error.

- Sustitución de símbolos se diseñó para usarse en un ambiente humano, en donde hay un humano en la terminal receptora para analizar los datos recibidos y tomar decisiones sobre su integridad. Con la sustitución de símbolos, si un carácter se recibe en error, en vez de revertirse a un nivel superior de corrección de errores o mostrar el carácter incorrecto, se sustituye por el carácter correcto.

- Retransmisión, como el nombre lo implica, es volver a enviar un mensaje, cuando es recibido con error, y la terminal de recepción automáticamente pide la retransmisión de todo el mensaje. La retransmisión frecuentemente se llama petición automática para retransmisión.

- Seguimiento de corrección de error (FEC), es el único esquema de corrección de errores que detecta y corrige los errores de transmisión, del lado receptor, sin pedir retransmisión. Con FEC, se agregan bits al mensaje antes de la transmisión. Un código de corrección de error popular es el código de Hamming. El número de bits en el código de Hamming depende del número de bits en el carácter de datos. El número de bits de Hamming que debe agregarse a un carácter se determina de la siguiente expresión [15]:

$$2^N \geq M + N + 1$$

Donde:  $N$  = número de bits de Hamming

$M$  = Número de bits en el carácter de datos.

### 2.4.2 Códigos de Banda Base

Cuando hablamos de codificación de banda base, hablamos de convertir los niveles lógicos estándares (TTL, CMOS, y otros), a una forma más adecuada para la transmisión en líneas telefónicas. Hay que considerar como primer factor importante para la codificación en banda base el voltaje de transmisión.

Los voltajes o niveles de transmisión pueden entrar en dos categorías: Unipolar (UP), o Bipolar (BP). La transmisión unipolar de datos binarios se refiere a la transmisión de sólo un nivel de voltaje, que no es cero, por ejemplo  $+V$  para representar un 1 lógico y 0 V ó tierra para un 0 lógico. En la transmisión bipolar existen dos niveles de voltaje que no son cero, por ejemplo  $+V$  para un 1 lógico y  $-V$  para un 0 lógico. En la transmisión bipolar la potencia promedio usada es menor que en la transmisión unipolar, en una línea digital la potencia es usada más eficientemente cuando se codifican datos binarios con voltajes que son iguales en magnitud, pero opuestos en polaridad y balanceados simétricamente cerca de 0 V.

El ciclo de trabajo de un pulso binario, puede utilizarse también para ordenar el tipo de transmisión. Si el pulso binario se mantiene durante el tiempo que dura el bit al cual representa, esto se llama no regreso a cero (NRZ). Si el tiempo activo del pulso binario es menor que 100% del tiempo de vida del bit que representa, esto se llama regreso a cero (RZ). Los voltajes unipolares y bipolares, así como la codificación de regreso a cero y no regreso a cero, se pueden combinar de varias formas para alcanzar un esquema de codificación en banda base en particular. En la figura 2-18 se muestran algunos códigos en banda base.

**Unipolar NRZ .-** En la figura A se representa una señal de no regreso a cero unipolar (UPNRZ), como se muestra sólo hay un nivel de voltaje que no es cero ( $+V=1$  lógico), el cero lógico es simplemente 0 V; además cada 1 lógico mantiene el valor positivo durante todo el tiempo de bit.

**Bipolar NRZ.-** En la figura B esta representada una señal no regreso a cero bipolar (BPNRZ) en este caso hay dos voltajes que no son cero ( $+V=1$  lógico y  $-V=0$  lógico) y se mantiene un ciclo de trabajo del 100 %.

**Unipolar RZ.-** La figura C muestra una señal regreso a cero unipolar (UPRZ) en este caso solo hay un voltaje que no es cero y el ciclo de trabajo está activo solo el 50%.

**Bipolar RZ.-** En la figura D se muestra una señal regreso a cero bipolar (BPRZ) en este caso hay dos voltajes que no son cero  $+V = 1$  lógico y  $-V = 0$  lógico y hay un ciclo de trabajo del 50%.

**Bipolar RZ-AMI.-** En la figura E esta representada una técnica de codificación conocida como inversión de marca alterna bipolar de regreso a cero (BPRZ-AMI) en este caso hay dos niveles de voltaje que no son cero  $-V$  y  $+V$ , pero aquí ambas polaridades representan 1 lógico, mientras que el 0 lógico es simplemente 0 V. En esta técnica cada 1 lógico sucesivo se invierte en polaridad del 1 lógico anterior.

**NRZ Diferencial.-** En la figura F se presenta una técnica de no regreso a cero diferencial en donde se produce un cambio de nivel si la señal es un 1 lógico y ninguno si es un 0 lógico.

**Manchester.-** La figura G presenta esta técnica, en la cual se produce una transición a la mitad de cada bit, siendo de  $-V$  a  $+V$  si es un 0 lógico y sucede lo contrario si es un 1 lógico.

**CMI.-** En la figura H se representa la técnica conocida como codificación por inversión de marca, en este caso cuando aparece un 1 lógico se produce una transición siempre al comienzo de cada bit cuya duración es igual al tiempo que dura el 1 lógico y su voltaje se determina invirtiendo la polaridad del 1 lógico anterior. En el caso de un 0 lógico, la señal se inicia con un valor de  $-V$  y ocurre una transición a la mitad del ciclo hacia  $+V$ .

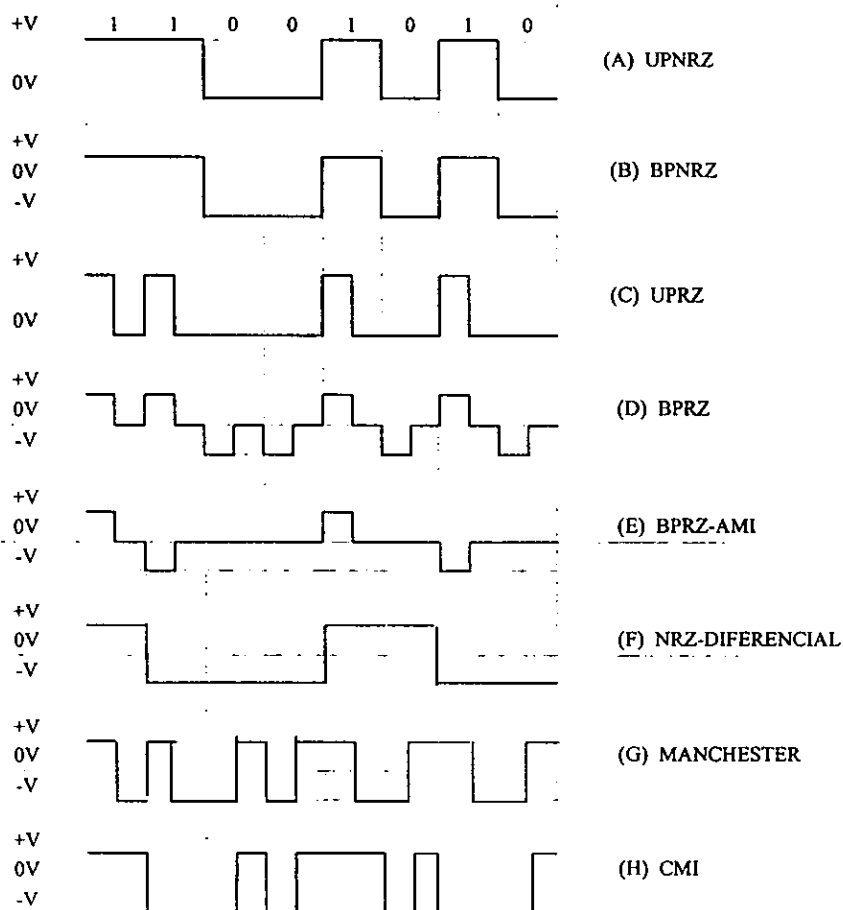


Fig. 2-18 Códigos de Banda Base



## Referencias

- [1] TOMASI, Wayne, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2a. Edición Prentice Hall, México 1996, pág. 3.
- [2] Ibidem, pág. 8.
- [3] Loc. cit.
- [4] HERRERA, Enrique, Introducción a las Telecomunicaciones Modernas, 1a. Edición Limusa Noriega, México 1998, pág. 36.
- [5] ROBIN, Michael y POULIN, Michel, Digital Television Fundamentals, McGraw-Hill, United States of America 1998, pág. 217.
- [6] HERRERA, Enrique, Op. cit. , pág. 37.
- [7] ROBIN, Michael y POULIN, Michel, Op. cit. , pág. 235.
- [8] Ibidem, pág. 239.
- [9] Ibidem, pág. 243.
- [10] Loc. cit.
- [11] ROBIN, Michael y POULIN, Michel, Op. cit, pág. 244.
- [12] FREEMAN, Roger L., Telecommunication Transmission Handbook, 3a. Edición, pág. 898.
- [13] Loc. cit.
- [14] TOMASI, Wayne, Op. cit. , pág.
- [15] Ibidem , pág. 526.

# CAPÍTULO 3

## CARACTERÍSTICAS DEL PAR TRENZADO

---

El par de cobre es el medio de transmisión más antiguo de los utilizados en la actualidad en las redes de comunicaciones. A pesar de su antigüedad, es todavía el elemento básico en la red que conecta a los usuarios telefónicos con sus centrales locales. Durante los comienzos de la telefonía, todos los circuitos usaban el retorno a través de tierra, pero la calidad de la señal era bastante pobre, por ello se añadió un segundo hilo y así se mejoró la calidad de la señal. Pero las señales de ambos hilos se interferían mutuamente, entonces dos cables de cobre telefónicos se trenzaron en forma helicoidal y así surgió el par trenzado. Un par de conductores actúa como una línea de comunicación independiente.

En los primeros años de la telefonía, surgió la necesidad de utilizar conductores para realizar las conexiones telefónicas. El cable telefónico (el cual consta de muchos conductores telefónicos reunidos en una misma cubierta), entonces, se fue desarrollando. Uno de los mayores problemas en los inicios de la telefonía fue la diafonía entre conductores.

En los años que siguieron, se emplearon muchos esquemas para reducir la diafonía. La mayoría de los intentos incluían blindaje para cada cable o se aterrizaraban cada cierta distancia. Finalmente en 1881, una patente para el par trenzado, el cual trabajaba bien al suprimir la diafonía, fue concedida a Alexander Graham Bell [1]. Así nació el par trenzado y desde entonces, el desarrollo de las líneas de par trenzado ha sido extensivo y ha incluido muchos tipos y tamaños de cables. Este capítulo está dedicado a la comprensión de las características del par trenzado.

Un par trenzado como su nombre lo indica, se compone de dos conductores trenzados uno con otro (también se les conoce como tip y ring), además se encuentran eléctricamente

aislados entre sí y del medio que los rodea por medio de material plástico o, como ocurría antiguamente, por papel.

Cuando muchos de estos pares de cobre deben recorrer un mismo trayecto, como sucede en las canalizaciones subterráneas de las líneas telefónicas, se agrupan en conjuntos denominados cables de pares. Un cable de pares trenzados puede contener desde 1 hasta 4,800 pares en un solo cable. La distancia que se puede recorrer con estos cables es de varios kilómetros, sin necesidad de amplificar las señales. Los cables telefónicos de muchos pares se dividen sucesivamente en cables más pequeños conforme se acercan al usuario, culminando en puntos de distribución, desde donde los cables se distribuyen hacia el usuario final.

Hoy en día la mayoría del recubrimiento que protege al cable consiste en varias capas de aluminio, acero y polietileno con el fin de conferir al cable un blindaje eléctrico, resistencia al agua y protección mecánica.

Las características de transmisión del par de cobre lo limitan en cuanto a ancho de banda se refiere. Esto lo hace poco adecuado para transmitir grandes caudales de información, requeridos para las comunicaciones multimedia. Sin embargo, recientemente se ha conseguido incrementar la capacidad de transmisión de un par de cobre hasta límites insospechados hace pocos años mediante el uso de modernas técnicas de procesamiento de señales, además de ser el par trenzado el medio preferido debido a su bajo costo

Este capítulo explica las características del par trenzado común. Esta información se volverá útil en los capítulos posteriores cuando se estudie el comportamiento de las tecnologías xDSL bajo las líneas telefónicas de par trenzado.

### 3.1 Conductores Tip y Ring (conductor A y conductor B)

Los nombres para los dos conductores de una línea telefónica (par trenzado), tienen sus orígenes en los conectores antiguamente empleados en las comunicaciones telefónicas (los cuales son similares a los actuales conectores que se utilizan con los audífonos). Es de mencionarse que estos nombres (tip y ring) son empleados hasta la actualidad. Un contacto eléctrico es llamado "tip" (punta) precisamente por ser la punta del conector, y el otro contacto es el "ring" (anillo) el cual se encuentra justamente a continuación de la punta. La figura 3-1 ilustra este hecho.

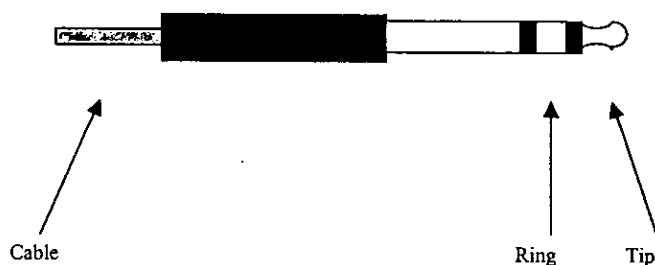


Figura 3-1. Conductores *tip* y *ring*

Históricamente, el equipo terminal de telecomunicaciones ha sido sensible a la polaridad de los conductores del tip y el ring. Para líneas conmutadas, el conductor del tip normalmente se encuentra conectado a tierra y el ring se encuentra al potencial de la batería (-48 V). Los pares de cobre utilizados para líneas digitales dedicadas normalmente no tienen una polaridad especificada, aún así, estos conductores también tienen un conductor de tip y otro de ring.

### 3.2 Señales en modo diferencial y en modo común.

Un concepto importante para entender al par trenzado, es el conocimiento de las señales en modo diferencial y en modo común. Una señal en modo diferencial es una señal que se

aplica entre dos conductores de manera diferencial. Una señal en modo común es la que se aplica simultáneamente a los conductores del par trenzado. Las señales de modo diferencial son llamadas señales metálicas, y las señales de modo común a veces se les llama señales longitudinales. La figura 3-2 ilustra las señales de modo diferencial y de modo común.

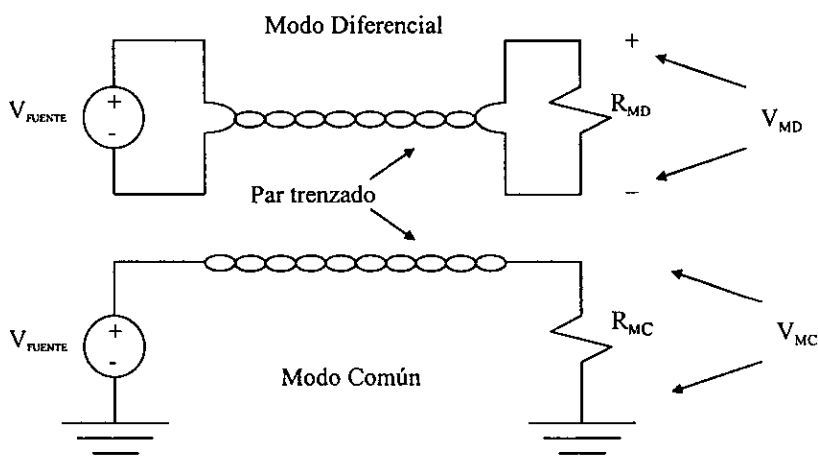


Figura 3-2. Señales en modo diferencial y en modo común

En el modo diferencial, ninguno de los conductores está conectado a tierra. Como los cables se encuentran físicamente cerca y son geométricamente simétricos uno con respecto al otro, cualquier señal externa afecta a ambos conductores por igual. Si del lado del receptor solamente se detecta el valor diferencial entre ambos conductores, la influencia externa se sustrae y se elimina por consiguiente.

Las señales de voz y de datos siempre son transmitidas sobre un par trenzado en forma diferencial. Las señales de modo común se generan debido a influencias externas tales como el ruido de los 60 Hz de las líneas del suministro eléctrico, señales de RF

provenientes de las estaciones de radio y disturbios de señales provenientes de otros pares trenzados.

Del lado receptor de un sistema de par trenzado, solamente el voltaje de modo diferencial es procesado. La señal de modo común se rechaza por medio de transformadores y amplificadores bien balanceados, los cuales efectivamente sustraen el voltaje de forma individual de cada conductor que conforma el par trenzado. Esto es a veces llamado rechazo al modo común.

Empleando dos conductores en lugar de uno, es posible utilizar señales diferenciales, las cuales son más inmunes a los efectos externos tales como la diafonía.

### **3.3 Cables multipares**

Los pares trenzados se fabrican comúnmente en forma de cables, formados por varios pares trenzados envueltos por una cubierta protectora. El número de pares contenidos en un mismo cable puede variar desde unos cuantos (por ejemplo un solo par) hasta 4,800 pares. Los cables comúnmente empleados en las líneas de los usuarios contienen de 25 a 100 pares trenzados. Un esquema de código de colores se emplea para identificar los pares trenzados dentro de un mismo cable.

### **3.4 Características del trenzado**

Cada par trenzado consiste de dos conductores provistos de un aislamiento independiente. El trenzado se emplea para reducir las interferencias electromagnéticas debidas a la diafonía entre pares adyacentes en un mismo cable. El trenzado también ayuda a los conductores que forman el par a mantenerse balanceados eléctricamente con respecto al blindaje y a otros pares que se encuentren en el mismo cable.

El trenzado de cada par mantiene a los cables de la misma línea tan cerca como es posible, además de exponer de manera periódica el lado opuesto de cada par a los efectos del ruido. Ambos de estos factores ayudan a cancelar los daños que pueden provocar las interferencias externas. Además, cada par dentro de un mismo cable tiene asignado un diferente ángulo de trenzado cuidadosamente seleccionado (de esta manera cada par parece trenzado con respecto a los otros pares del mismo cable), además los pares se colocan en posiciones semialeatorias con respecto a los otros pares dentro del mismo cable. Ambos efectos ayudan a reducir la diafonía entre los mismos pares.

Los dos conductores de un mismo par se trenzan en sentido contrario a las manecillas del reloj y la distancia entre vueltas puede estar entre los cinco y quince centímetros, pero su valor siempre es constante para un mismo par una vez que se determina su ángulo de trenzado, siempre buscando la forma óptima para poder reducir la diafonía para las frecuencias altas (cientos de kilohertz o más) debido que es en esta región donde la diafonía se convierte en un problema.

### **3.5 Aislamiento entre conductores**

Todos los conductores modernos que forman parte de un cable de par trenzado presentan una cubierta aislante de plástico colocada por medio de un proceso de extrusión. Los cables antiguos emplean aislamiento de papel (en algunas partes aún se puede hallar este tipo de aislamiento). El par trenzado en la actualidad emplea varios tipos de aislantes plásticos. Estos plásticos incluyen el polietileno y el PVC, en tanto que el espesor del aislamiento varía desde 10 mil hasta 14 mil [2] (1 mil = 1 milésima de pulgada).

Las dimensiones y la constante dieléctrica del aislamiento de cada uno de los conductores y del material que los rodea determina la capacitancia de los pares trenzados dentro de un cable.

### 3.6 Blindaje

Los cables de par trenzado tienen normalmente un blindaje metálico. Este blindaje se aterriza en los extremos de cada cable.

Los cables expuestos a la intemperie normalmente se fabrican con un blindaje hecho a base de una cubierta de aluminio o de cobre, con forma de cinta metálica o de malla hecha a base de filamentos. Para incrementar la resistencia a la corrosión, el aluminio es envuelto con un plástico delgado. Este tipo de envoltura no es necesaria en el blindaje de cobre. Se suelen emplear superficies corrugadas en lugar de lisas para incrementar la fuerza y la flexibilidad en el cable. El blindaje aísla a los conductores de las interferencias electromagnéticas, tales como la inducción de frecuencias armónicas de las líneas de suministro de energía eléctrica. La finalidad del blindaje es la de aislar los pares que forman el cable de las interferencias y su efectividad está determinada por el factor de blindaje. Cuando es necesario aislar un cable de frecuencias específicas, se emplean blindajes a base de hierro.

El blindaje de aluminio o de cobre funciona mejor para las altas frecuencias, las cuales causan molestias a los usuarios en el caso del servicio telefónico convencional o pueden causar problemas para las transmisiones digitales

Todos los equipos instalados, desde aparatos telefónicos hasta equipos terminales (digitales o analógicos), se diseñan para tener poca respuesta a los 60 Hz, por lo que la frecuencia fundamental de las líneas del suministro eléctrico normalmente no es un problema. El factor de blindaje en un cable determinado, para una frecuencia de 60 Hz, aumenta al doble de su valor cuando se trabaja a una frecuencia de 540 Hz. También, un cable con cuatro veces más de diámetro que otro cable, proporcionará dos veces mayor blindaje.

El grosor del blindaje es generalmente de 0.008 pulgadas (ocho mil) cuando se construye de aluminio y de 0.005 pulgadas (cinco mil) cuando es de cobre [3]. El aluminio es el



blindaje preferido por que es más barato y útil en todas las aplicaciones más demandantes y para un medio ambiente altamente corrosivo.

El blindaje se mantiene continuo a lo largo de todo el cable por medio de zonas de empalme, tales como registros o terminales aéreas. Estas zonas de empalme se utilizan para conectar los cables a tierra física en intervalos regulares. La continuidad y el aterrizaje son muy importantes, de otra manera, los cables son susceptibles no sólo al ruido, sino al daño de sobrevoltajes por fallas en el suministro de energía y por los transitorios.

El blindaje afecta las características de la línea de transmisión y reduce la distancia sobre la cual puede transmitirse de manera efectiva además de ser más costoso que un cable sin blindaje.

En el caso de no emplear blindaje en los cables de par trenzado, se incrementan los efectos debidos a la interferencia, pero por otra parte se reduce el costo, tamaño y tiempo de la instalación, también elimina la posibilidad de circuitos de tierra (corrientes que circulan por el blindaje debido a que el voltaje de tierra en cada extremo del cable conductor no es el mismo, generando interferencias, lo que se supone debería evitar el mismo blindaje).

### **3.7 Cables rellenos y cables a presión**

Como protección contra la presencia de agua dentro del cable, en la actualidad algunos cables se rellenan con una sustancia aceitosa y los cables no rellenos se suelen mantener bajo presión con aire seco después de la instalación para prevenir el ingreso de humedad.

La humedad en los cables incrementa su capacitancia. Con capacitancias mayores sobreviene mayor atenuación, la cual puede ser hasta de un 40% sobre los valores en seco para la banda de voz.

Todos los cable de gran tamaño (arriba de 1200 pares) son presurizados a menos que el cable sea un pedido especial que incluya un relleno en particular.

Es virtualmente imposible mantener la humedad fuera de un cable con centro de aire instalado en exteriores por un periodo largo de tiempo, independientemente del servicio al que sean sujetos los cables. Esto se aplica para todo tipo de cables (aéreos, directamente enterrados o subterráneos), o si el cable es relativamente pequeño. Si el cable es relativamente pequeño o si no es posible presurizarlo, entonces se recomienda emplear un tipo de cable con relleno. Los cables sin presión y con centro de aire nunca deben ser colocados bajo tierra o directamente enterrados, en el caso que se desee contar con un cable al cual no se le tenga que proporcionar mantenimiento por un largo periodo de tiempo.

### **3.8 Cubierta externa**

La cubierta externa protege y sirve de amortiguamiento para el cable. Además, también proporciona una resistencia al deterioro químico y a la abrasión. En los cables modernos de telecomunicaciones, la cubierta externa es de plástico, el grosor de esta cubierta varía dependiendo de tamaño y del tipo de cable. Para cables de par trenzado expuestos al medio ambiente, el espesor de la cubierta varía desde 60 mil para cables con diámetros de 0.75 pulgadas hasta 110 mil o más en cables con un diámetro mayor a dos pulgadas.

El grosor de la cubierta externa para cables de interiores, típicamente es menor que para los cables de exteriores, debido a que los cables en interiores se suelen instalar en ambientes muy favorables. En casos en los cuales un cable de exterior debe ser instalado en un medio ambiente muy perjudicial, se pueden fabricar cables con una cubierta especial.

El tipo de plástico empleado en las cubiertas externas varía con la aplicación. Un material conocido como PVC (polivinil chloride / cloruro de polivinilo) suele emplearse para construir las cubiertas externas de los cables. Otro tipo de material es el hecho a base

de una resina de fluoropolímero (por ejemplo TEFLÓN). Las cubiertas hechas a base de polietilenos se emplean en las aplicaciones de cables de exteriores.

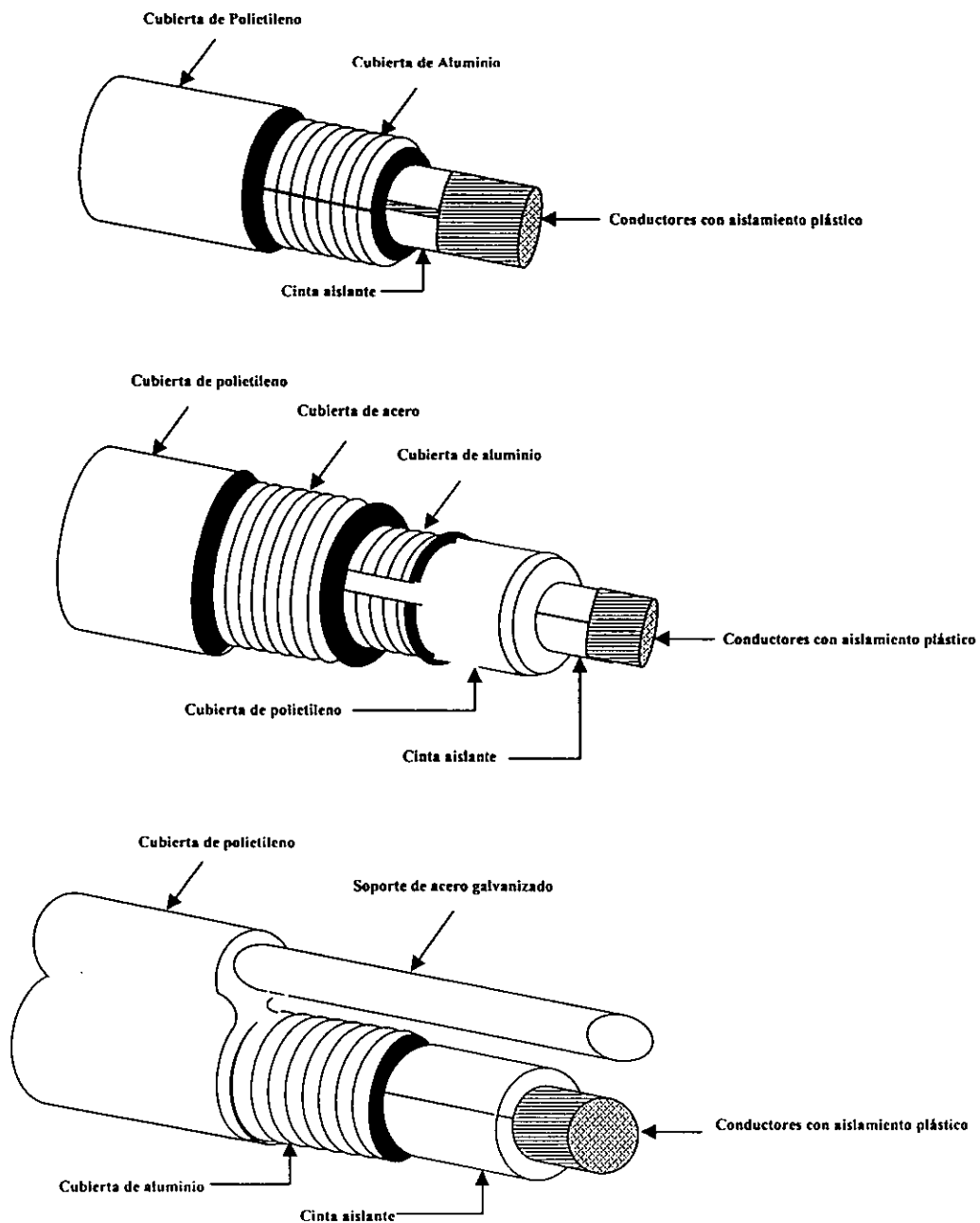
La figura 3.3 Muestra todos los elementos anteriormente descritos y que conforman los cables de par trenzado.

### 3.9 Calibres empleados en la construcción de cables de par trenzado

El par trenzado comúnmente se caracteriza por medio de su calibre, el cual se especifica en valores de AWG (American Wire Gauge / Calibre de Cable Americano). El calibre es un indicativo del diámetro de los alambres de cobre que forman el par trenzado, típicamente los calibres para par trenzado incluyen los valores de 19, 22, 24 y 26 AWG con diámetros desde 0.91 mm hasta 0.41 mm de forma tal que, el calibre más pequeño corresponde al diámetro mayor. La tabla 3-1 muestra los calibres junto con su correspondiente diámetro.

| <u>AWG</u> | <u>Diámetro (mm)</u> |
|------------|----------------------|
| 19         | 0.91                 |
| 22         | 0.64                 |
| 24         | 0.51                 |
| 26         | 0.41                 |

Tabla 3-1. Relación entre calibres y diámetros de conductores



**Fig. 3-3. Construcciones del Cable de Par Trenzado**

Se ha limitado el uso de los conductores de aluminio en el área de telecomunicaciones. Los conductores de aluminio proporcionan aproximadamente la misma conductividad que el cobre cuando se fabrican con un calibre mayor. Por ejemplo, un conductor de aluminio de 20 AWG proporciona aproximadamente la misma conductividad que un conductor de cobre de 22 AWG.

### 3.10 Categorías del par trenzado

El par trenzado también se define por categorías especificando tolerancias eléctricas del par. Las instalaciones para transmisión de datos a alta velocidad requieren de cables de categoría 3. Los número de categorías mayores corresponden a un par trenzado con mejor desempeño en términos de pérdidas y diafonía. La tabla 3-2 lista las diferentes categorías de cables, las velocidades de transmisión soportadas aproximadamente y la aplicación específica para cada categoría.

El estándar ISO/EIC 11801 divide los cables sin blindaje en varias categorías, destacando:

| Categoría | Velocidad de transmisión | Aplicaciones |
|-----------|--------------------------|--------------|
|-----------|--------------------------|--------------|

|   |                    |  |
|---|--------------------|--|
| 1 | Sin especificación |  |
| 2 | 1 Mbps             | Algunos circuitos de baja velocidad                      |
| 3 | 16 Mbps            | Empleado para redes de computadoras 10BaseT y Token Ring |
| 4 | 20 Mbps            | Empleado para redes de computadoras 10BaseT y Token Ring |
| 5 | 100 Mbps           | 10/100BaseT y otras tecnologías de alta velocidad        |

Tabla 3-2. Categorías para par trenzado [4]

Los cables de categoría 1 y 2 se utilizan para voz y transmisión de datos de baja capacidad (hasta 1 Mbps). Este tipo de cable es el idóneo para las comunicaciones

telefónicas, pero las velocidades requeridas hoy en día por las redes necesitan mejor calidad.

Para las tecnologías xDSL, la categoría 3 o mayor para el par trenzado es la deseada. Como se mencionó en el capítulo 1, el reuso de las líneas existentes de cobre es la mayor ventaja de las tecnologías xDSL. EL cable existente es comúnmente tan bueno o mejor en algunos casos que lo especificado para categoría 3.

Cada cable en niveles sucesivos maximiza la transmisión de datos y minimiza las cuatro limitaciones de las comunicaciones de datos: atenuación, diafonía, capacidad y desajuste de impedancia.

Los desajustes de impedancia ocurren cuando la impedancia del medio de comunicación no se ajusta a la del dispositivo de recepción. Es una medida de cómo las señales pueden pasar fácilmente a través de un circuito. Para comunicaciones mas claras, las impedancias del transmisor y del receptor deben ser iguales. La impedancia para los cables UTP debe ser de 100 ohms  $\pm 15$ .

## Referencias

- [1] RAUSHMAYER, Dennis J., ADSL/VDSL principles, 1a. ed. Macmillan Technical Publishing, USA, 1999, pág. 160.
- [2] WHITHAM, D. Reeve., Subscriber loop signaling and transmission handbook Digital, 1a. ed. IEEE Press, USA, 1995, pág. 320.
- [3] Ibidem, pág 325.
- [4] RAUSHMAYER, Dennis J., ADSL/VDSL principles, 1a. ed. Macmillan Technical Publishing, USA, 1999, pág. 160.

## REDES DE PAR TRENZADO EN LAS ZONAS URBANAS

---

El sistema telefónico es el mayor sistema integrado del mundo. Dos abonados particulares situados en puntos diametralmente opuestos del globo pueden establecer comunicación, en muchos casos automáticamente, utilizando este sistema.

Los abonados tienen acceso al resto de la red por medio de la central a la que se encuentran conectados; según la terminología, esta central se conoce como oficina central o central local. Una central local tiene cierta área de servicio y todos los abonados localizados en esta área obtienen su servicio a través de dicha central.

Llamaremos red telefónica a un agrupamiento de centrales telefónicas que operan entre sí, como se muestra en la figura 4-1.

El desarrollo de la red telefónica originalmente fue pensado para el transporte de voz en forma analógica. Sin embargo, ha sido empleado para la transmisión de señales digitales utilizando técnicas de modulación digital.

En la actualidad la red telefónica en las zonas urbanas está constituida en gran parte por el par trenzado. Aunque han surgido otras tecnologías para reemplazar este tipo de medio de transmisión, el par trenzado sigue siendo el más usado debido a que ya se tiene toda una infraestructura con este medio y sería un error desperdiciarla, es por esto que han surgido nuevas tecnologías en el medio digital, las cuales adaptan el par trenzado a los requerimientos actuales de transmisión. Un conocimiento básico acerca de la red telefónica se vuelve necesario para la comprensión de muchas soluciones técnicas, y para el desarrollo de sistemas de comunicaciones por medio del par trenzado.



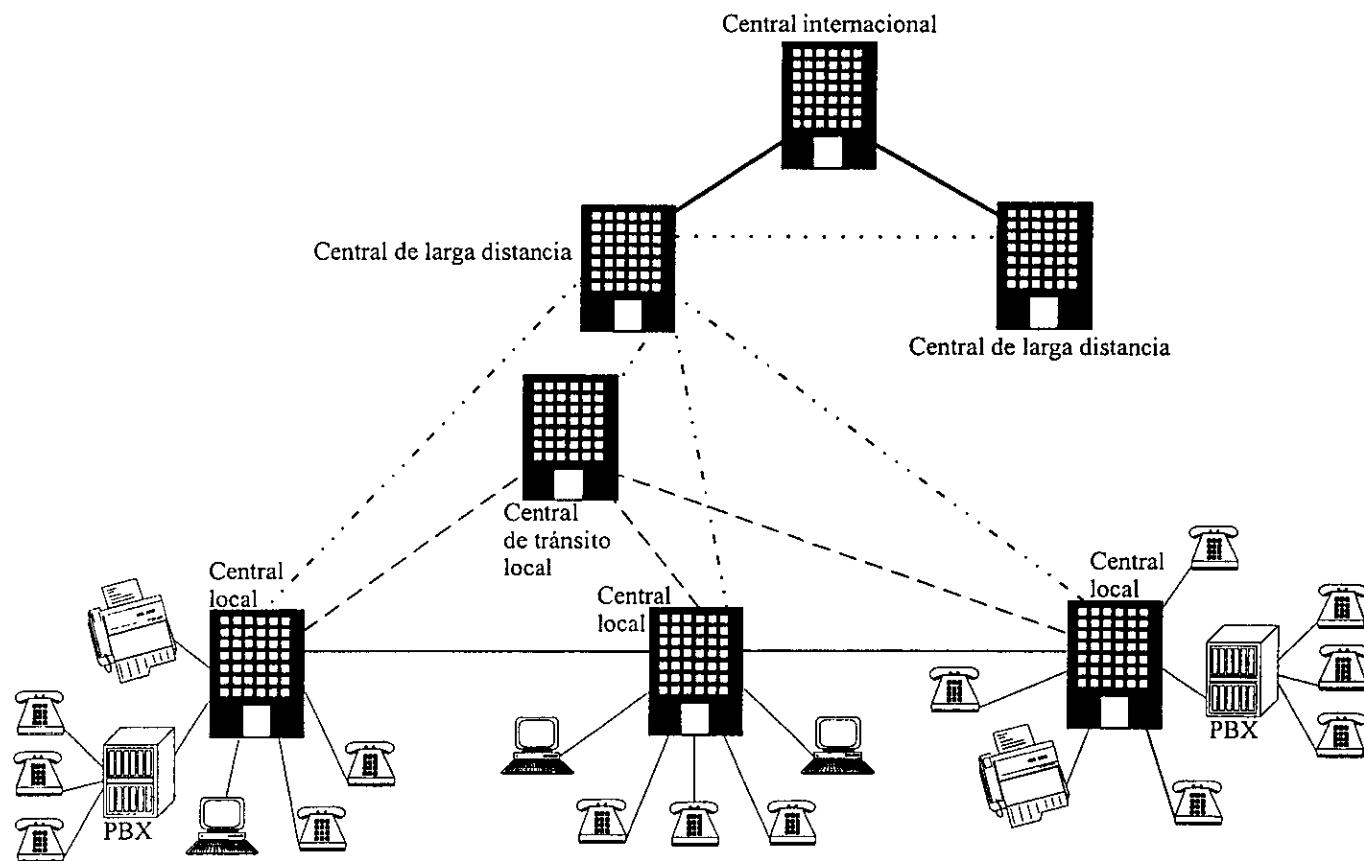


Figura 4-1. Ejemplo de una red telefónica

En su forma más general, el sistema telefónico se puede dividir en tres grandes grupos: equipos terminales (aparatos telefónicos), la línea telefónica (par trenzado) y la central telefónica.

#### **4.1 La telefonía en México**

Desde que surgió la vida independiente, México buscó las bases que le permitieran hallar el camino de su desarrollo. En razón de las concesiones que el gobierno otorgó a las compañías extranjeras, la década que transcurrió entre 1877 y 1887 registró un significativo desarrollo de las comunicaciones, a tal grado que se construyeron en promedio 700 km de vías férreas por año, la red telegráfica creció de 9,000 a 40,000 km y se inauguró la Compañía Trasatlántica Mexicana [1].

Dentro de este contexto, el 13 de marzo de 1878 [2] se efectúa el primer enlace telefónico entre la ciudad de México y la población de Tlalpan, con la consiguiente admiración popular, ya que se logró comunicación a una distancia de 16 km.

A partir del año de 1883, se inician las construcciones de vías subterráneas y de ductos para los conductores telefónicos. Debido a la exposición a la intemperie, los alambres telefónicos sufrían continuos desperfectos que provocaban mala calidad en las transmisiones; la llegada de los conductores aislados en 1894, permitió corregir esas anomalías e iniciar un negocio por demás productivo: la sustitución del alambre por cable. A partir de ese momento las mejoras técnicas, tanto en el aparato telefónico como en la infraestructura que permite la prestación del servicio, fueron constantes; comenzó a usarse el circuito metálico de dos hilos conductores y al año siguiente se introdujo el conmutador múltiple completo o metálico, con capacidad hasta de dos mil líneas; mil de ellas para uso inmediato, lo que representó un gran esfuerzo por parte de la Compañía Telefónica Mexicana.

En el plano internacional, con el fin de la primera guerra mundial, las telecomunicaciones y en especial en el campo de la telefonía, se planteó utilizar las comunicaciones eléctricas con ondas portadoras.

La telefonía automática iría sustituyendo gradualmente al sistema de operadoras. Como el enlace requerido para conectar a dos suscriptores de la red urbana se efectuaba por

dispositivos electromagnéticos y mecánicos, este sistema era capaz de retener en un registro cualquier número que se marcara en el disco del aparato. La información contenida en los números telefónicos se traducían en impulsos eléctricos que pasaban a los selectores, los cuales hacían los enlaces de la intercomunicación.

La telefonía automática revolucionó el mundo de las telecomunicaciones, e hizo necesario dar capacitación al personal técnico. Se decidió que la compañía Ericsson utilizara exclusivamente dígitos, mientras que otra compañía usaría dígitos y letras, por lo que los discos de sus aparatos tenían los siguientes símbolos: A-1, F-2, H-3, J-4, L-5, M-6, P-7, Q-8, X-9 y Z-0. Ambas compañías tenían la capacidad para numerar del 10,000 al 99,999 incluyendo entre otros, los números reservados para pruebas, servicios especiales y propósitos técnicos.

El 1 de julio de 1928 tuvieron éxito los esfuerzos para lograr una comunicación telefónica con Europa [3]. El sistema consistía en una combinación de líneas telefónicas terrestres y circuitos radiotelefónicos a través del Atlántico.

En Junio de 1936 el presidente Cárdenas comunicó a las compañías Ericsson y la ITT (International Telephone and Telegraph Co.) que deberían enlazar sus líneas y combinar sus servicios, sustentando su orden en razones de interés público.

El 16 de agosto de 1972 la compañía de teléfonos dejó de ser privada para ser estatal, el Distrito Federal se convirtió en la localidad que centralizara el tráfico del servicio. Durante el curso de 1978 se pusieron en marcha seis sistemas de larga distancia de microondas de alta capacidad, así como la instalación de 105 sistemas múltiples de canalización y señalización.

Es hasta el 26 de junio de 1980 que TELMEX se incorporó al uso de sistemas digitales; las principales ventajas de estos sistemas son las siguientes:

- Menor sensibilidad a distorsión e interferencia.
- La comunicación es más fácil de instrumentar.
- Diferentes tipos de señales que pueden ser tratadas como señales idénticas tanto en la conmutación como en la transmisión.

- En un canal digital telefónico PCM (Pulse Code Modulation) se pueden transmitir varios canales telefónicos por un mismo circuito, ya que utilizan 30 canales por cada dos pares telefónicos.
- Reducción del espacio para introducir el equipo digital, que ocupa un 20 por ciento del convencional analógico.

En 1981 se llevaron a cabo dos nuevos avances técnicos en materia de telefonía. El primero consistió en la puesta en operación del servicio del sistema autotelefónico radiomóvil. El segundo fue la instalación de los primeros enlaces con fibras ópticas, así como la inauguración, en la ciudad de Tijuana, de la primera central electrónica digital de larga distancia en nuestro país. En 1987 se instalaron teléfonos públicos de alcancía que cuentan con un teclado de marcación y un microprocesador digital, y con diversos servicios de larga distancia. Durante 1988 se puso en servicio la central de Red Digital de Servicios Integrados (RDSI) [4], la cual permite que los usuarios puedan utilizar en forma simultánea una sola línea telefónica digital para transmitir los servicios de voz, datos, video y facsímil.

En septiembre de 1989, el Gobierno Federal anuncia su intención de privatizar Teléfonos de México vendiendo su participación en el capital de la empresa, con la condición fundamental de mantener la soberanía del Estado en el sector de las telecomunicaciones. El 9 de diciembre de 1990 se anuncia al grupo ganador, que es un consorcio integrado por el grupo Carso, Southwestern Bell International Holdings y France Cables et Radio [5].

De 1991 a 1993 se emprendió la construcción de una red de fibra óptica de 13,500 kilómetros que forma parte del sistema de larga distancia. Asimismo en 1993 se abrieron 77,000 líneas tipo "céntrix", las cuales tienen la ventaja de ofrecer un servicio adicional, equivalente a la instalación de un conmutador en el domicilio del usuario.

El 11 de agosto de 1996 TELMEX dejó de tener el privilegio de ser la única empresa que proporcionaba el servicio de larga distancia. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) autorizó la entrada a nuevos concesionarios prestadores del servicio (y posteriormente de telefonía local), con infraestructura propia y por tanto que no requieran la interconexión a la red de TELMEX para ofrecer el servicio a partir de esta fecha.

Actualmente se están ofreciendo en la telefonía digital los servicios de llamada en espera, y conferencia tripartita entre otros.

## **4.2 Equipos Terminales**

Los tipos más comunes de terminales son los aparatos telefónicos, terminales de datos, computadoras y los conmutadores privados (PBX -- Private Branch Exchange); aunque recientemente las redes de área local (LAN -- Local Area Network), han venido a ser aquellas que permiten interconexiones conmutadas entre una comunidad de computadoras y terminales de datos. Este tipo de comunidades de computadoras pueden encontrarse en grandes empresas, universidades y hospitales.

Actualmente los aparatos telefónicos tienen dos formas de indicarle a la central a la que están conectados a que número se pretende llamar: una es mediante marcación por pulsos, basada en aperturas y cierres de la línea, que es típica de los teléfonos con disco que producen esas aperturas y cierres al girar, y otra es la marcación por tonos típica de los teléfonos de teclas (aunque no todos los teléfonos de teclas son de este tipo) y que envían una combinación de dos frecuencias para cada número que marcamos.

Las frecuencias emitidas por el teléfono de marcar están entre los 700 y los 1,700 Hz, lo cual quiere decir que podemos utilizar nuestro teclado telefónico, incluso para controlar algo a distancia una vez que esté establecida la comunicación, como puede ser nuestra contestadora. Esto se debe a que la red telefónica nos permite enviar de un teléfono a otro cualquier frecuencia que esté entre 300 y 3,400 Hz, lo que hace que un canal telefónico tenga un ancho de banda de 3,100 Hz. De hecho, a la voz humana que puede emitir frecuencias de hasta 10 kHz [6], la red telefónica le recorta las frecuencias superiores a 3,400 Hz.

## **4.3 La línea del usuario**

La línea del usuario, establece una conexión primaria entre el usuario y una central de conmutación local, llamada central urbana. Sin embargo, sería equivocado pensar que una línea está siempre constituida por el mismo par de hilos pertenecientes a un cable. Como los abonados se dan de alta y de baja, los pares que integran un cable han de ser constantemente reconectados en las cajas de distribución situadas en cámaras subterráneas, en postes, o en las calles. La línea termina en la central, sobre un repartidor de distribución o repartidor principal y desde allí se conectan al sistema de conmutación.

La línea bifilar, compuesta por un par de hilos conductores trenzados, transporta las señales hasta la central telefónica (es llamada línea del usuario). Varias líneas de usuario pueden formar parte de un mismo cable; los cables consisten en varios miles de pares bifilares. Todos los pares bifilares se conectan al sistema de conmutación que se encuentra en la central telefónica.

La línea del usuario típicamente consta de secciones de pares de cobre de diferentes calibres. La ubicación física de una sección de la línea del abonado puede ser:

- **Aérea** (colgando de postes).
- **Enterrada** (directamente en la tierra).
- **Subterránea** (protegida dentro de un túnel dedicado).

Las primeras líneas telefónicas fueron aéreas en su mayor parte, en tanto que las instalaciones más recientes, especialmente para nuevos desarrollos habitacionales son subterráneas. Los cables enterrados son empleados para líneas que no justifican la construcción de túneles subterráneos. Las líneas aéreas son más susceptibles de interferencias de radiofrecuencias que las líneas subterráneas o las enterradas.

Para reducir el efecto de la diafonía, los pares atados dentro de un mismo cable tienen diferentes ángulos de trenzado. Dependiendo del tipo de cable, pueden haber 10, 25, o hasta 50 pares en un grupo atado por cable. Debido a su concentración, los cables de par trenzado van incrementando su grosor conforme se acercan a la central telefónica. Funcionalmente una línea telefónica puede ser dividida en los siguientes tramos:

- **Cables de alimentación.** Proporcionan la unión entre el área del usuario y la central telefónica.
- **Cables de distribución.** Proporcionan la unión entre los cables de alimentación y los sitios de usuarios potenciales.
- **Cables de acometida.** Conectan los cables de distribución con el usuario.

Los puntos de conexión entre los cables de alimentación y los de distribución se colocan comúnmente en gabinetes llamados interfaces de alimentación y distribución. Los puntos de conexión en los cables de distribución, se encuentran comúnmente localizados en pedestales para el caso de cables subterráneos, o en terminales para el caso de cables aéreos. Los cables de acometida comúnmente consisten de dos alambres paralelos. Las

construcciones recientes emplean múltiples pares trenzados (dos, cuatro o seis). El cable de acometida es generalmente corto y tiene muy poco efecto sobre las características de la línea de transmisión.

Después de varios intentos por mejorar la calidad en el servicio telefónico, se ha observado que los calibres más apropiados para la transmisión de voz en un canal telefónico son los de 19, 22 y 24 AWG y que las distancias apropiadas para una calidad aceptable de la voz son de alrededor de 5.49 km desde la central telefónica hasta el usuario con los calibres antes mencionados, o en su defecto de hasta 4.57 km para un calibre de 26 AWG [7]. Sin embargo en muchos casos se ha tenido la necesidad de elevar la longitud de este tipo de líneas, por lo cual se han tenido que implementar ciertos arreglos para la prolongación de las distancias antes descritas, con el fin de alcanzar mayores distancias para aquellos usuarios que se encuentran más lejos que las distancias comúnmente establecidas.

#### **4.3.1 Bobinas de carga**

La carga es un sistema para mejorar las características de transmisión de las líneas telefónicas sin utilizar amplificación. Aunque existen varios métodos posibles de variar las características de las instalaciones, el método más practicado es añadir inductores en serie, denominados bobinas de carga a intervalos regulares a lo largo de la línea. A la vez que preservan la continuidad de la línea, estas bobinas aumentan la impedancia de la línea y reducen por lo tanto las pérdidas en la línea. Además tienden a hacer más uniformes tanto la impedancia como la atenuación a lo largo del filtro paso-banda del sistema de carga. Estas características se consiguen a expensas de otras características de transmisión.

La bobina de carga tiene la forma de una dona, alrededor de la cual es enrollado el alambre telefónico, tal y como se muestra en la figura 4-2. La inductancia añadida es controlada con el tamaño de la dona, la pureza del acero, el número de bobinas y el espaciamiento entre cargas inductivas. Para el mejor empleo de las cargas inductivas, se han formado familias de cargas y sus consiguientes espaciados. Cada familia se distingue por dos parámetros: el primero, el espacio entre cargas inductivas, y el segundo, el número de milihenrys de la inductancia. Tres esquemas de carga son comunes: B-44, D-66 y H-88.

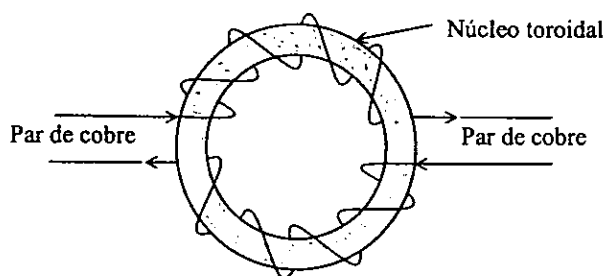


Figura 4-2. Bobina de carga

Una carga en el esquema de B-44 añade 44 milihenrys de inductancia a la línea con un espaciado de 915 metros. Las cargas del tipo D-66 añaden 66 milihenrys y son agregadas cada 1,220 metros. En tanto que en el esquema de H-88 (el más común) se agregan cargas de 88 milihenrys con 1,830 metros de separación entre cargas [8].

Una característica importante es que en el extremo de la central telefónica siempre se coloca la primera carga a la mitad del espacio normal entre cargas. Así por ejemplo, para el esquema de cargas H-88, la distancia entre la carga y la central telefónica debe ser de 915 metros. En la figura 4-3 se muestra un ejemplo del uso de cargas inductivas.

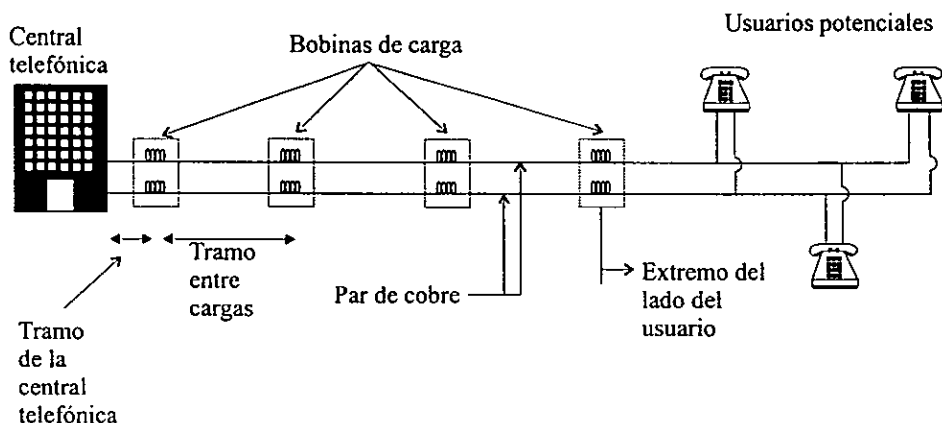


Figura 4-3. Ejemplo del uso de cargas inductivas



### **4.3.2 Derivaciones (bridged taps)**

Debido a que la construcción del cableado telefónico normalmente se lleva a cabo con antelación a la solicitud del usuario, los cables de distribución normalmente se encuentran disponibles en todos los sitios potenciales de los usuarios. Debido a esto, es una práctica común conectar un par trenzado proveniente de un cable de alimentación con más de un cable de distribución. Así, de esta forma se maximiza la probabilidad de poder darle acceso a un cliente potencial. Los cables no utilizados en este esquema de distribución, dan como resultado las derivaciones (bridged taps).

Dentro de las reglas de diseño para la línea del usuario, se considera un cierto número máximo de derivaciones, de tal forma que la resistencia de la línea no se vea comprometida.

### **4.4 Centrales telefónicas**

La necesidad de conectar a un usuario de una red telefónica con otros ubicados en diferentes lugares, dio paso a la creación de centrales, en donde se concentran todas las llamadas telefónicas entrantes y salientes. Las centrales telefónicas hacen posible la conmutación con otras centrales, o la conmutación con otro usuario para llevar a cabo la comunicación (si son usuarios de la misma central). Además se encarga de proporcionar la energía eléctrica necesaria a todos los usuarios cuyas líneas telefónicas están conectadas a ellas.

La función principal de una central telefónica es prestar servicios de telecomunicaciones a sus abonados. Toda central deberá proporcionar ciertos servicios telefónicos básicos para satisfacer a sus abonados.

Existen diferentes tipos de centrales telefónicas dependiendo de su utilidad. Sus características se mencionan a continuación.

#### **4.4.1 Central privada conectada a la red pública (PBX)**

Una central privada conectada a la red pública puede estar dotada de un conmutador manual, que exige la intervención de una operadora para conectar todas las llamadas

(central privada manual conectada a la red pública); o de conmutación automática para las llamadas entre extensiones, con la opción de una conexión manual o automática de las llamadas de entrada/salida (central privada automática conectada a la red pública). Se trata de una central autosuficiente, instalada en los locales del abonado, que asegura todas las interconexiones locales requeridas, conexiones con otras centrales privadas conectadas a la red pública y centros directores, así como extensiones con una central local o de tránsito.

Los PBX sirven desde un número de 100 teléfonos hasta muy grandes instalaciones con más de 10,000 aparatos. Estos equipos son comprados o arrendados y se localizan en las instalaciones de la empresa. Una alternativa para ubicar los sistemas antes mencionados en los inmuebles de las empresas es tener todas las terminales de datos y los teléfonos conectados directamente al conmutador de una central de la red pública.

#### **4.4.2 Central privada “centralizada” (céntrex)**

Por otra parte, existe el servicio céntrex, que normalmente lo suministra la central telefónica local. Puede constituir una parte identificable de la central local, formando parte integrante de los soportes lógicos y físicos de la misma, o constituir un circuito separado de esa central y estar ubicado de forma tal que pueda atender a varios abonados de un grupo.

El servicio céntrex proporciona el equivalente funcional de los servicios de un PBX, y está apoyado en el equipo de conmutación de una central telefónica. Cada teléfono y terminal de datos localizados en las empresas que contratan este servicio, dedican un canal exclusivamente a la comunicación con el conmutador de la central para poder efectuar las llamadas hacia donde se desee.

#### **4.4.3 Central local**

La red telefónica está organizada de forma jerárquica. El nivel más bajo (las centrales locales) está formado por el conjunto de nodos a los cuales están conectados los usuarios.

Una central local presta servicio a los abonados ubicados en una determinada zona. El tamaño de esta zona dependerá de que sea urbana o rural y de la relación entre el costo de la conmutación y el de la transmisión (los cables). Las centrales locales en ciudades y pueblos

se caracterizan generalmente por una concentración de abonados en una zona relativamente pequeña. El número de abonados por km<sup>2</sup> puede estar comprendido entre 50 y más de 10,000, y depende de la concentración de los grandes edificios de oficinas. Esto significa que la extensión de la zona servida por una central es menor cuando ésta se encuentra en el centro de una ciudad grande que cuando se encuentra en los suburbios, pero su densidad de líneas es mayor. Las centrales locales urbanas que incluyen conmutación a distancia pueden dar servicio a un número cualquiera de líneas de abonado comprendido entre 400 y 100,000.

#### **4.4.4 Central de tránsito local (Tándem)**

Las centrales de tránsito local, que pueden ser a 2 hilos o a 4 hilos, se utilizan para establecer comunicaciones en las que intervienen más de una central en una zona que comprende varias centrales locales, y comunicaciones (a 4 hilos) procedentes de la red de larga distancia, o destinadas a ésta. Ciertos servicios centralizados pueden también alcanzarse a través de la central de tránsito local. Según el tamaño de la zona y el número de centrales locales, una zona multicentral puede no tener ninguna central de tránsito local, tener una sola, o tener varias.

#### **4.4.5 Central de larga distancia (Interurbana)**

La central utilizada en la red de larga distancia, que generalmente es a 4 hilos, efectúa la conmutación de todas las llamadas de larga distancia y establece las comunicaciones procedentes de, y con destino a la red local. Las llamadas se establecen por selección automática interurbana o son marcadas por la operadora, aunque estas últimas normalmente constituyen una pequeña proporción cuando se dispone de la selección automática interurbana.

#### **4.4.6 Central internacional**

La necesidad siguiente de un abonado puede ser realizar una llamada telefónica a otro país. De la misma forma que las llamadas nacionales son progresivamente concentradas en

los distintos tipos de centrales mencionadas anteriormente, las llamadas a otros países se concentran en una central internacional en cada país.

La central internacional trata llamadas internacionales salientes, entrantes y de tránsito. Las comunicaciones pueden establecerse manual, semiautomática o automáticamente, es decir, por selección automática internacional. Una central internacional dará generalmente acceso a una operadora.

#### **4.4.7 Central combinada**

En algunas zonas puede ser económico prestar servicios mediante centrales combinadas. Las combinaciones más frecuentes son:

- Local / tránsito local.
- Local / larga distancia.
- Tránsito local / larga distancia.
- Larga distancia / internacional.
- Local / tránsito local / larga distancia.

#### **4.5 Las troncales telefónicas**

La comunicación entre centrales telefónicas se realiza mediante circuitos dedicados, los cuales pueden ser: par trenzado, cable coaxial o fibra óptica, dependiendo del tráfico entre las centrales que se involucran. Este proceso de comunicación entre centrales telefónicas se realiza empleando multiplexaje por división de tiempo a través de las troncales entre centrales telefónicas a partir de un sistema PCM como se explicó anteriormente en el capítulo 2.

Para hacer posible esta comunicación, el canal de voz es empleado para transmitir secuencias de valores binarios (unos y ceros). Para una transmisión telefónica de voz, 256 niveles se muestran como suficientes según los estudios psicoacústicos realizados, lo que requiere de 8 bits ( $2^8 = 256$ ) para su representación, de esta forma se requiere que por cada canal se tomen 8,000 muestras por segundo y que cada muestra se codifique según el número binario de 8 bits, resultando:

$$8,000 \text{ muestras/segundo} \times 8 \text{ bits/muestra} = 64,000 \text{ bits/segundo}$$

En el sistema europeo (que es el empleado en México), hay 32 intervalos de tiempo o canales, empleando 30 de ellos para canales de voz, uno para sincronización (el 0) y otro para señalización (el 16), resultando una velocidad de:

$$32 \times 64,000 \text{ b/s} = 2,048,000 \text{ b/s} = 2.048 \text{ Mb/s}$$

mientras que en el sistema americano, con 24 canales, todos de voz, mas 8 kb/s para sincronización, resulta una velocidad de:

$$(24 \times 64,000 \text{ b/s}) + 8 \text{ kb/s} = 1,544,000 \text{ b/s} = 1.544 \text{ Mb/s}$$

y así de esta manera es posible transmitir múltiples canales de voz por un sólo canal físico.

Los niveles de multiplexaje antes mencionados, los cuales resultan de las recomendaciones CCITT (G-732 y G-734 para el caso de 2.048 Mbps) y de la norma AT&T T 1.5 Service (para el caso de 1.544 Mbps), es posible jerarquizarlos de acuerdo al nivel de multiplexaje. Las tablas siguientes muestran los niveles de multiplexaje empleados en Estados Unidos y en Europa.

#### JERARQUÍA EUROPEA

| Número de canales | Denominación      | Velocidad (Mbps) |
|-------------------|-------------------|------------------|
| 1                 | Analógico         | 0.004            |
| 1                 | Básico (E0)       | 0.064            |
| 30                | Primario (E1)     | 2.048            |
| 120               | Segundo orden     | 8.448            |
| 480               | Tercer orden (E3) | 34.368           |
| 1920              | Cuarto orden      | 139.264          |
| 7680              | Quinto orden      | 564.992          |

Tabla 4-1. Niveles de multiplexaje TDM en el mundo (excepto Estados Unidos, Canadá y Japón).

## JERARQUÍA AMERICANA

| Número de canales | Denominación | Velocidad (Mbps) |
|-------------------|--------------|------------------|
| 1                 | Analógico    | 0.004            |
| 1                 | DS0          | 0.064            |
| 24                | DS1 ó T1     | 1.544            |
| 48                | DS1C         | 3.152            |
| 96                | DS2 ó T2     | 6.312            |
| 672               | DS3 ó T3     | 44.736           |
| 4032              | DS4 ó T4     | 274.176          |

Tabla 4-2. Niveles de multiplexaje TDM en Estados Unidos.

### 4.6 Red telefónica de TELMEX

La continua evolución tecnológica que han desarrollado los sistemas de transmisión y conmutación ha hecho que la estructura de la red nacional tenga hoy que adecuarse a las nuevas necesidades del tráfico telefónico. El continuo incremento en el manejo de tráfico telefónico, los nuevos servicios que se están desarrollando y la apertura reciente en el mercado de larga distancia, han hecho que TELMEX actualice el diseño de su red de conmutación de manera tal que le permitan optimizar su uso.

En base a estas demandas TELMEX ha modificado su red. En la tabla 4-3 se muestra la arquitectura actual de la red de telecomunicaciones de TELMEX desde el punto de vista de conmutación, la cual, está formada por los siguientes niveles funcionales:

| Nivel                                      | Función  |
|--|--|
| Centro de Conexión de Abonados (CCA).      | Son centrales maestras compactas de baja capacidad, y Unidades Remotas de Líneas que conectan abonados.  |
| Centro de Capacidad de Enrutamiento (CCE). | Se refiere a las centrales maestras que tienen la función de manejar tanto el tráfico originado y terminado en la propia central, como el tráfico originado y terminado en centrales subordinadas de nivel CCA.                                      |
| Centro de Tránsito Urbano (CTU).           | En él se ubican las centrales que manejan el tráfico de tránsito Urbano, para comunicar centrales de nivel funcional CCE.  |
| Centro de Tránsito Interurbano (CTI).      | Centrales que manejan el tráfico de tránsito entre centrales de nivel CCE's, así como el tráfico internacional (USA y algunas islas del Caribe). Así mismo, las centrales de este nivel servirán de tránsito Para el acceso a los centros mundiales. |
| Centro Internacional (CI).                 | Se refiere a las centrales que manejan el tráfico de larga distancia Internacional (USA y algunas islas del Caribe) de la red metropolitana.   |
| Centro Mundial (CM).                       | Centrales que manejan el tráfico mundial entre la red de TELMEX y Otras administraciones de países diferentes a USA y algunas islas del Caribe.  |

Tabla 4-3. Arquitectura actual de la red de conmutación de TELMEX

#### 4.7 Aplicaciones actuales de las redes telefónicas

La red telefónica que conocemos actualmente presta los servicios de voz, datos, fax e Internet, los cuales se explicaron en el capítulo 1. Estos servicios cubren la demanda que los usuarios actualmente requieren. Sin embargo, las velocidades alcanzadas por los equipos de comunicaciones empleando la red telefónica se muestran insuficientes ante los nuevos servicios digitales (tales como el videoteléfono y video por demanda entre otros). Es por ello que surge la necesidad de buscar nuevas tecnologías que empleen la red de par trenzado existente de manera más eficiente. De estas nuevas tecnologías se hablará en los capítulos subsecuentes.

## Referencias

- [1] Los Inicios de la telefonía en México  
<http://www.telmex.com.mx/inicio.htm>
- [2] Ídem
- [3] Ídem
- [4] Ídem
- [5] Ídem
- [6] GORALSKY, Walter, ADSL and DSL technologies, 1a. ed. McGraw-Hill, USA, 1998, pág. 57.
- [7] MAXWELL, Kim, Asymmetric Digital Subscriber Line: Interim Technology for the Next Forty Years, IEEE Communications Magazine, Octubre 1996, pág. 100.
- [8] GORALSKY, Walter, ADSL and DSL technologies, 1a. ed. McGraw-Hill, USA, 1998, pág. 67.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**



# CAPÍTULO 5

## TRANSMISIÓN DE SEÑALES DIGITALES POR PAR TRENZADO

---

Cuando se desea enviar información, empleando como medio de transmisión el par trenzado, es común emplear técnicas de transmisión en banda base para el caso de comunicación entre centrales telefónicas o de líneas privadas (dedicadas) rentadas por particulares. En el caso de emplear la línea telefónica residencial convencional (red conmutada), es necesario utilizar técnicas de modulación digital tales como ASK, FSK, QPSK o QAM por mencionar algunas.

El objetivo de las técnicas empleadas para la transmisión de información, es el de poder transmitir la mayor cantidad de información posible, empleando la mínima cantidad de recursos y proporcionar además un grado de confiabilidad aceptable.

En la actualidad el recurso mayormente empleado para acceder a Internet, en el caso de usuarios residenciales, es el módem. Sin embargo, las velocidades de transmisión alcanzadas por este tipo de equipos se encuentran muy por debajo de las expectativas de los usuarios actuales de Internet. En la búsqueda de nuevas soluciones para la transmisión de información, se han desarrollado técnicas de modulación digital tales como DMT (Discrete Multitone) o CAP (Carrierless Amplitud/phase Modulation), las cuales promueven el aprovechamiento de la red de cobre (par trenzado), además de emplear procesadores digitales de señales (DSPs) ya disponibles en el mercado a un costo razonable (lo que anteriormente era imposible).

En este capítulo, primeramente se presentará un panorama general de las actuales técnicas de transmisión por par trenzado y posteriormente se explicarán las tecnologías xDSL. Finalmente se mencionarán algunas características que se deben considerar cuando se emplea el par trenzado para la transmisión de información.

## 5.1 Técnicas de modulación digital

La aparición de las computadoras y la necesidad de intercambiar información entre ellas en forma digital, a distancias considerables, ha hecho necesaria la aparición de equipos que permitan adaptar las señales de las computadoras (señales digitales), a los sistemas de transmisión existentes (diseñados para recibir señales analógicas).

Para realizar una transmisión de datos a través de la red telefónica, la secuencia de bits procedente del equipo terminal de datos debe de transformarse en otra adecuada para viajar a través de los medios de transmisión analógicos disponibles. Esto es así por que una secuencia digital produce picos en el espectro de la señal que no son tolerables en los canales telefónicos (con un ancho de banda de 3100 Hz) por que pueden dar lugar a diafonía entre canales y generar una distorsión de las señales recibidas. Además, las secuencias de datos con gran cantidad de ceros o unos seguidos dificultaría la sincronización en el receptor. Para evitar esto, la señal de datos se somete al proceso de modulación, esto es, la transformación en una señal analógica, conteniendo la misma información, dentro de la banda de 300 a 3400 Hz en el extremo origen, y al de demodulación (proceso inverso) en el extremo destino.

El conjunto de ambos procesos lo realiza el mismo equipo, y a éste se le denomina módem (modulador/demodulador) siendo el encargado de modificar una onda senoidal (portadora) en función de los valores que adopte la secuencia de datos, dando origen a los tres tipos de modulación más conocidos:

- Modulación de amplitud (ASK).
- Modulación de frecuencia (FSK).
- Modulación de fase (PSK).

Además de los tres tipos de modulación anteriores, se mencionarán también las técnicas de modulación basadas en QAM (Quadrature Amplitude Modulation) y DMT (Discrete Multi Tone), ya que estas técnicas son la base para los servicios de comunicación basados en las tecnologías xDSL.

### 5.1.1 Modulación ASK

La modulación ASK o modulación por cambio de amplitud como se muestra en la figura 5-1, es el proceso que consiste en asignar a cada valor lógico, una amplitud distinta manteniendo constante la frecuencia y la fase, correspondiendo al uno lógico la amplitud mayor y al cero lógico la amplitud menor.

La ecuación que define el comportamiento de este tipo de modulación es

$$x(t) = A[1 \pm m]\cos \omega_c t \quad \text{.....(5-1)}$$

en donde:

A es el valor máximo de la señal

m es el índice de modulación ( $0 \leq m \leq 1$ )

$\omega_c$  es la frecuencia de la portadora en radianes/segundo  $= 2\pi f_c$

Para este tipo de modulación se considera que el valor de "m" no debe exceder de la unidad. Además debe tomarse en cuenta que la expresión anterior está basada en una señal digital modulada en banda base en un código del tipo NRZ.

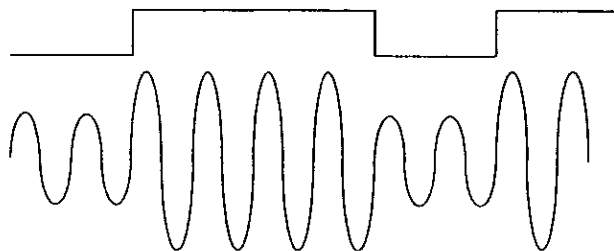


Figura 5-1. Modulación ASK

Suponiendo que se tomara el índice de modulación al 100% ( $m = 1$ ), entonces la señal variaría entre  $2A$  y cero, y entonces aparecería un tipo de señal modulada conocida como OOK (On-Off Keying / Variaciones entre Apagado-Encendido), la cual produce cambios de señal como los mostrados en la figura 5-2.

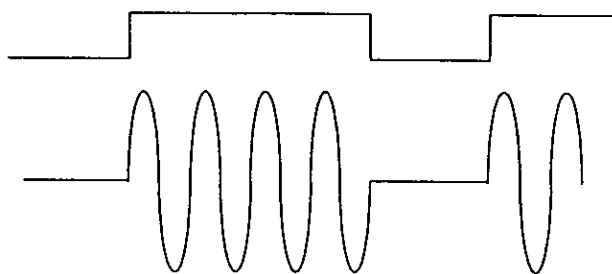


Figura 5-2. ASK con  $m = 1$

Cuando se investiga el desempeño de la modulación ASK, se halla que el valor de  $m=1$  es la mejor elección para comunicaciones digitales. De hecho, existen pocas razones por las que se escogería otro valor de  $m$ . Así que, cuando la gente se refiere a ASK, se puede asumir automáticamente que se están refiriendo a OOK, a menos de que se indique lo contrario.

La densidad espectral para una señal modulada en ASK, se muestra en la figura 5-3. Nótese que se consideró  $m = 1$ , éste es el caso de OOK.

La modulación ASK no es utilizada como tal exclusivamente, ya que es muy sensible a los ruidos eléctricos, y le afecta gravemente la mayor o menor longitud de la línea y características de la portadora (atenuación), no permitiendo la agrupación de la información en grupos de dos o tres bits, ya que a cada uno de estos grupos de bits le correspondería una amplitud distinta, y como la amplitud de la señal está en función de la atenuación de la portadora y de la frecuencia utilizada, podría suceder que no se pudiesen diferenciar con claridad los niveles lógicos que corresponden a cada uno de los distintos grupos de bits formados.

Sin embargo este tipo de modulación se suele utilizar conjuntamente con la modulación FSK y PSK para aumentar la velocidad de transmisión.

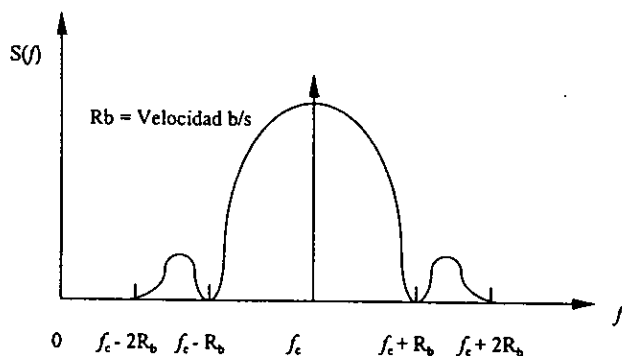


Figura 5-3. Densidad espectral para una señal ASK

### 5.1.2 Modulación FSK

En la modulación por cambio de frecuencia, la frecuencia instantánea de la portadora es variada entre dos (o más) valores en respuesta a la señal binaria a la entrada, permaneciendo la amplitud y la fase constantes. Esta modulación se muestra en la figura 5-4.

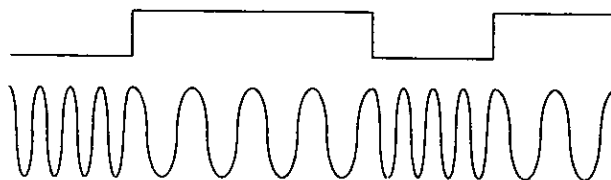


Figura 5-4. Modulación FSK

La expresión general que define el comportamiento para una señal modulada empleando FSK está dada por

$$x(t) = A \cos \left[ \left( \omega_c + \frac{m_n \Delta \omega}{2} \right) t \right] \quad \dots\dots\dots(5-2)$$

en donde:

$A$  = valor máximo de la señal sin modular

$m_a(t)$  = señal digital en banda base en código NRZ

$\Delta\omega$  = es la diferencia de frecuencias (en radianes) entre señales

Para obtener el espectro de la señal modulada con FSK, se puede considerar la superposición de dos señales moduladas en ASK[1]. Una de estas señales es la señal ASK resultante de modular la señal binaria utilizando la frecuencia  $f_c + \Delta f$  como frecuencia para la portadora y empleando OOK. La otra señal resultará de modular el *complemento* de la señal original en banda base, empleando OOK y una frecuencia de la portadora de  $f_c - \Delta f$ . La figura 5-5 muestra la densidad espectral de la señal.

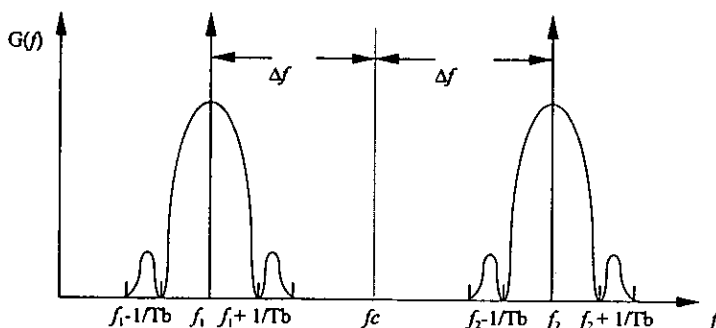


Figura 5-5 Densidad espectral para una señal FSK

Teniendo en cuenta que los valores de frecuencia utilizados en cualquier tipo de modulación deben estar comprendidos dentro de la gama de frecuencias del canal telefónico (300 a 3400Hz) para que puedan ser aceptadas por los sistemas de transmisión existentes, y asignando como mínimo un ciclo de cada una de las frecuencias consideradas en la modulación FSK, la máxima velocidad de transmisión vendrá determinada por la frecuencia utilizada por la transmisión del nivel lógico bajo.

Sin embargo, es posible aumentar la velocidad de transmisión para este tipo de modulación, mediante una técnica que consiste en formar agrupaciones de bits, bien de dos bits, o de tres bits.

Cuando los bits se agrupan de dos en dos antes de realizar la modulación, dependiendo del valor lógico de cada uno de los bits que integran el grupo de dos bits, se pueden dar las combinaciones siguientes: 00, 01, 10, 11. Si a cada uno de estos cuatro grupos de bits se les asigna una frecuencia distinta, y se les asigna como mínimo un ciclo para detectar el valor de la frecuencia, entonces se podrá obtener una mayor velocidad de transmisión empleando el mismo ancho de banda. A este tipo de modulación se le conoce también como FSK cuaternario.

Cuando en lugar de formar grupos de dos bits, se forman grupos de tres bits, el número de combinaciones de ceros y unos es de ocho, teniendo que asignar a cada una de estas agrupaciones formadas por tres bits una frecuencia distinta, con lo que, la cantidad de información transmitida se verá incrementada.

Debe tenerse en cuenta que en múltiples ocasiones la máxima velocidad queda reducida por la necesidad de disponer de un canal dúplex de comunicación, es decir, comunicación en los dos sentidos y al mismo tiempo, lo que obliga a que las frecuencias utilizadas en los dos sentidos de comunicación sean distintas teniendo que elegir por tanto, valores de frecuencias que estén situados en el segmento bajo del canal telefónico.

El aumento de la velocidad de transmisión lleva asociada una mayor complejidad en los módems y la necesidad de disponer de canales telefónicos de calidad.

### **5.1.3 Modulación PSK**

Es el proceso que consiste en asignar a cada valor lógico un ángulo de fase distinto, manteniendo constante la frecuencia y la amplitud. Existe un tipo de modulación PSK en el cual cada señal se encuentra separada 180 grados con respecto a la otra; también se le conoce como 2-PSK o BPSK (Binary PSK / PSK Binario), por que existen dos ángulos de fase diferente. También es posible encontrar esquemas de modulación basados en PSK con múltiples valores. 4-PSK (también conocido como QPSK - Quaternary Phase Shift Keying / Modulación por cambio de fase cuaternaria) y 8-PSK son los ejemplos más comunes de modulación PSK con múltiples fases.

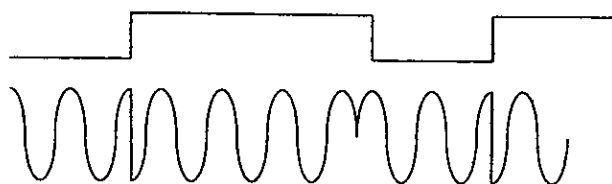


Figura 5-6. Modulación PSK

La expresión general para representar la modulación PSK es :

$$x(t) = \cos\left(\omega_c t + \frac{m_n(t)\Delta\phi}{2}\right) \quad \dots\dots\dots(5-3)$$

en donde

$m_n(t)$  = señal digital en banda base en código NRZ con niveles de  $\pm 1, \pm 3, \dots$

$\Delta\phi = 2\pi/n$  es la separación entre señales adyacentes

La densidad espectral para una señal BPSK se muestra a continuación. Una señal BPSK puede considerarse como la superposición de dos señales ASK y el ancho de banda se puede obtener examinando sus componentes. Es decir, si se toma una señal modulada en OOK y su complemento (la misma señal con  $180^\circ$  de desfase), entonces se puede ver que al sumarlas se obtiene una señal BPSK.

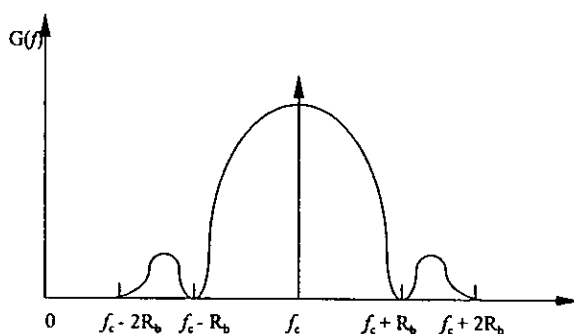


Figura 5-7. Densidad espectral para una señal BPSK



El ancho de banda nominal para una señal del tipo BPSK es dos veces la velocidad de transmisión.

Supóngase que el ancho de banda de la señal es muy amplio como para no poder transmitir información a través del canal. Una solución sería reducir la tasa de transmisión. Pero esto no sería muy aceptable. En lugar de eso, se puede optimizar el ancho de banda sin disminuir la tasa de transmisión. Por ejemplo, se pueden transmitir la misma información binaria empleando QPSK. Debido a que la fase de la portadora cambia cada 2 bits, entonces, el ancho de banda nominal es la mitad que el de BPSK para la misma información transmitida.

Para el caso de QPSK, las cuatro señales posibles se encuentran separadas  $90^\circ$  entre sí, lo cual implica una mayor capacidad del equipo receptor para poder detectar estos cambios de fase.

Existe un tipo de modulación dentro de PSK, el cual consiste en transmitir los datos en la forma de cambios discretos en la fase, en donde la fase de referencia es la fase de la señal transmitida previamente. La ventaja obvia es que el receptor (también como el transmisor) no tiene que mantener una fase absoluta de referencia. Esta técnica es conocida como DPSK (Differential PSK / PSK Diferencial).

#### 5.1.4 Modulación QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

Todas las señales de portadoras analógicas se caracterizan por su amplitud, frecuencia y fase. Cualquiera de ellas, o inclusive estas tres características juntas, se pueden emplear para la señalización de ceros y unos, los cuales conforman el contenido de la información. De forma general, un modulador QAM genera señales diferentes introduciendo una modulación por cambio de fase y de amplitud al mismo tiempo. En el caso de 16 señales diferentes, cada una representa 4 bits por cada condición, o una señalización de 4 bits por baud. En general una señal modulada empleando QAM se representa de la siguiente manera :

$$s(t) = a(t) \cos [2\pi f_c t + \Theta(t)] = \text{Re} \{ a(t) e^{j(\omega_c t + \Theta(t))} \} \dots\dots\dots(5-4)$$

donde la portadora  $\cos(\omega_c t)$  está modulada en amplitud de acuerdo con el valor de  $a(t)$  y en fase por medio de  $\Theta(t)$ .

De forma más específica, QAM modula la amplitud de dos ondas en cuadratura. Una forma simple de QAM emplea cuatro diferentes amplitudes para cada una de las dos ondas. Si las cuatro amplitudes son etiquetadas desde  $A_1$  hasta  $A_4$ , entonces se obtienen 16 diferentes tipos de señales utilizando todas las posibles parejas de amplitudes combinadas con simplemente una función seno y una coseno (por ejemplo  $A_1 \sin(F_c) + A_2 \cos(F_c)$ ,  $A_1 \sin(F_c) + A_3 \cos(F_c)$ ,...) para crear los tipos de señales necesarias. Esto da lugar a los patrones de "constelaciones". Un ejemplo de "constelación" se muestra en la figura 5-8. Sin embargo, es más común representar dichas constelaciones simplemente con puntos, las flechas son empleadas únicamente para enfatizar los ángulos de fase y las diferentes amplitudes.

Nótese que, aunque el ejemplo de la figura 5-8 muestra 12 diferentes ángulos de fase, y 4 contienen componentes en amplitud del seno y del coseno (un sistema de cuatro niveles) para codificar 4 bits por baud (cambio de la señal, en este caso fase y amplitud juntos), otros sistemas pueden emplear más (o menos) combinaciones de amplitudes y ángulos. Entre más sean los niveles de amplitud y de fase, mayor será el número de puntos en la constelación y correspondientemente mayor el número de bits por cada señal. Como un sistema de codificación de múltiples bits, QAM está limitado por el número de niveles que pueden ser distinguidos por el receptor si se considera el ruido.

Obsérvese como QAM puede ser empleado para enviar video. La salida de un digitalizador es separada en nibbles (la mitad de un byte es un nibble), es decir, señales de 4 bits. Como en el ejemplo de QAM con 16 puntos en la constelación de la figura 5-8, los nibbles son alimentados al codificador el cual selecciona la amplitud apropiada para las ondas en cuadratura. La salida del codificador es la alimentación para el modulador, el cual crea la señal correcta a la salida. Nótese que el modulador combina la amplitud apropiada de la frecuencia portadora del seno y del coseno, de esta manera crea los cambios de fase y amplitud asociados con el correcto punto en la constelación. Finalmente, la señal se filtra para asegurarse que ésta no interfiera con otros canales.

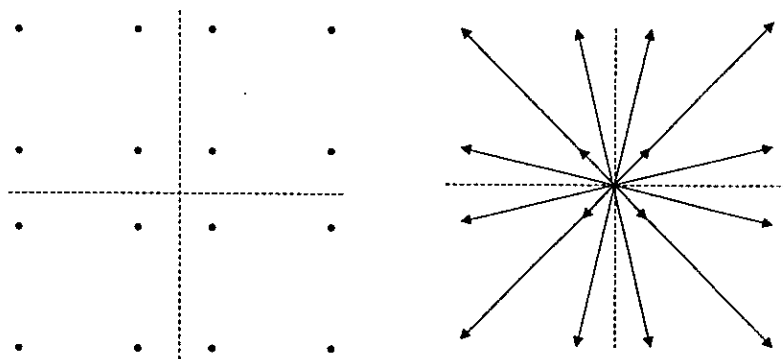


Figura 5-8. Constelación QAM de 16 valores

El diagrama de bloques de un modulador QAM de 16 valores se muestra en la figura 5-9. Los datos binarios a la entrada son separados en cuatro canales: I, I', Q y Q'. La velocidad de cada canal es igual a la cuarta parte de la velocidad de entrada ( $f_b/4$ ). A cada bit dentro de cada grupo de 4 se le asigna una secuencia y todos ellos son enviados simultáneamente y en paralelo por los canales I, I', Q y Q'. Los bits I y Q determinan la polaridad a la salida del convertidor de nivel (un 1 lógico = positivo y un 0 lógico = negativo). Los bits I' y Q' determinan la magnitud (un 1 lógico = 0.821 V y un 0 lógico = 0.22 V). Consecuentemente, los convertidores de nivel generan una señal PAM de 4 niveles. Se pueden obtener dos polaridades y dos magnitudes ( $\pm 0.22$  V y  $\pm 0.821$  V). Las señales PAM modulan, entonces en fase y en cuadratura a las portadoras en los moduladores balanceados. Se pueden obtener cuatro diferentes salidas por cada modulador balanceado. Para el modulador balanceado I estos valores son  $+0.821 \text{ sen } \omega_c t$ ,  $-0.821 \text{ sen } \omega_c t$ ,  $+0.22 \text{ sen } \omega_c t$  y  $-0.22 \text{ sen } \omega_c t$ . Para el modulador balanceado Q estos valores son  $+0.821 \text{ cos } \omega_c t$ ,  $-0.821 \text{ cos } \omega_c t$ ,  $+0.22 \text{ cos } \omega_c t$  y  $-0.22 \text{ cos } \omega_c t$ . El sumador lineal combina las salidas de los canales I y Q y producen las 16 condiciones de salida necesarias para una modulador QAM de 16 valores. La figura 5-10 muestra la tabla de verdad para la salida de los canales I y Q.

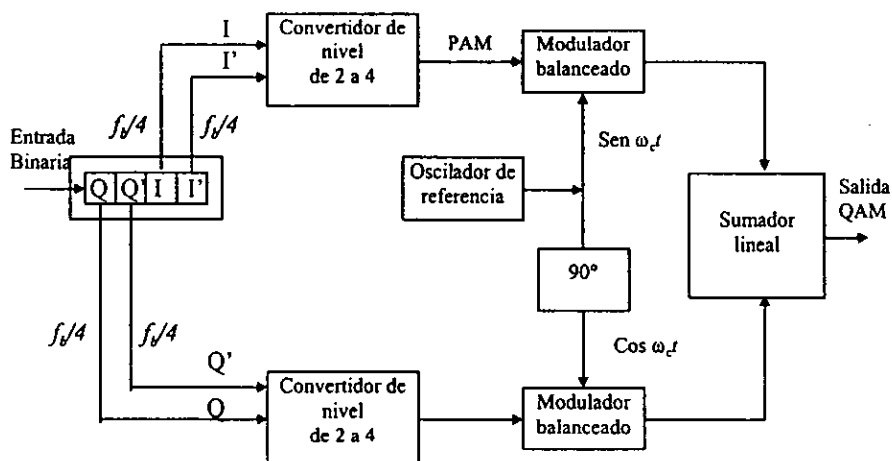


Figura 5-9. Diagrama de bloques de un modulador QAM de 16 valores

| Entrada binaria |    |   |    | Salida QAM de 16 valores |       |
|-----------------|----|---|----|--------------------------|-------|
| Q               | Q' | I | I' |                          |       |
| 0               | 0  | 0 | 0  | 0.311 V                  | -135° |
| 0               | 0  | 0 | 1  | 0.850 V                  | -165° |
| 0               | 0  | 1 | 0  | 0.311 V                  | -45°  |
| 0               | 0  | 1 | 1  | 0.850 V                  | -15°  |
| 0               | 1  | 0 | 0  | 0.850 V                  | -105° |
| 0               | 1  | 0 | 1  | 1.161 V                  | -135° |
| 0               | 1  | 1 | 0  | 0.850 V                  | -75°  |
| 0               | 1  | 1 | 1  | 1.161 V                  | -45°  |
| 1               | 0  | 0 | 0  | 0.311 V                  | 135°  |
| 1               | 0  | 0 | 1  | 0.850 V                  | 165°  |
| 1               | 0  | 1 | 0  | 0.311 V                  | 45°   |
| 1               | 0  | 1 | 1  | 0.850 V                  | 15°   |
| 1               | 1  | 0 | 0  | 0.850 V                  | 105°  |
| 1               | 1  | 0 | 1  | 1.161 V                  | 135°  |
| 1               | 1  | 1 | 0  | 0.850 V                  | 75°   |
| 1               | 1  | 1 | 1  | 1.161 V                  | 45°   |

|       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 1101* | 1100* | •1110 | •1111 |
| 1001* | 1000* | •1010 | •1011 |
| 0001* | 0000* | •0010 | •0011 |
| 0101* | 0100* | •0110 | •0111 |

Figura 5-10. Tabla de verdad para el modulador QAM de 16 valores y diagrama de constelación [2][3].

### 5.1.5 Modulación CAP (Carrierless Amplitud/phase Modulation)

Se ha desarrollado una variación de QAM, llamada CAP (Carrierless Amplitud/phase Modulation). La información binaria a la entrada del modulador CAP es dividida en grupos de dos bits, los cuales alimentan a dos filtros digitales paso-banda en paralelo, cada uno con la misma respuesta en amplitud pero con una diferencia de respuesta en fase de  $90^\circ$ . Las salidas de cada filtro son sumadas y se hacen pasar por un convertidor digital/analógico antes de ser enviadas al medio de transmisión. De hecho, estas dos técnicas de modulación (QAM y CAP) son, matemáticamente, casi idénticas [4]. La diferencia se encuentra en que la técnica QAM genera constelaciones basadas en dos características de las señales recibidas: amplitud y diferencia de fase. Cualquier punto fijado por una diferencia de fase y una amplitud, representa una secuencia de bits bien definida. CAP es esencialmente un tipo de QAM en el cual la constelación es libre de rotar. Un elemento en la circuitería de CAP llamado función de rotación determina los puntos correspondientes dentro de la constelación de QAM. Así que para obtener CAP a partir de QAM, sólo hay que agregar una función de rotación del lado del receptor y suprimir la portadora del lado del transmisor. La supresión de portadora requiere mayor circuitería en el extremo receptor de la que requiere QAM, pero la circuitería actualmente es más barata que hace algunos años. La virtud de CAP es su mayor eficiencia en comparación con QAM cuando se implementan en forma digital.

### 5.1.6 Densidad espectral para las modulaciones CAP y QAM

Las tecnologías CAP (Carrierless Amplitude/Phase Modulation) y QAM (Quadrature Amplitude Modulation) tienen una representación muy similar en los dominios del tiempo y de la frecuencia. Por esta razón, CAP y QAM se tratan juntas desde el punto de vista de densidades espectrales. Toda la discusión en esta sección se aplica tanto para QAM como para CAP.

Una señal CAP se puede generar combinando la salida de dos filtros ( $g$  y  $h$ ), cada una excitada por un tren de pulsos a una velocidad (en bauds) igual a la velocidad del sistema de transmisión CAP, tal y como se muestra en la figura 5-11.

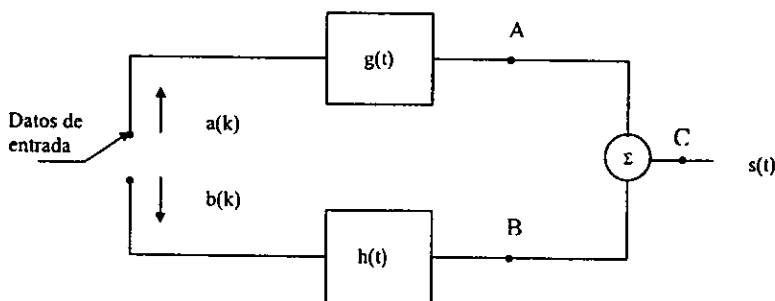


Figura 5-11. Diagrama simplificado de un modulador CAP/QAM

Los trenes de pulsos  $a_k$  y  $b_k$  tienen valores independientes e igualmente distribuidos. El valor posible del pulso tiene una media de cero y una varianza  $V^2$  para  $a_k$  y  $b_k$ . Si la forma de onda para los dos trenes de pulsos están dados por  $a$  y  $b$ , entonces las funciones de autocorrelación son las que se muestran en las ecuaciones 5-5 y 5-6.

$$R_{aa}(\tau) = V^2 \delta(\tau) \quad \dots\dots\dots(5.5)$$

$$R_{bb}(\tau) = V^2 \delta(\tau) \quad \dots\dots\dots(5.6)$$

Debido a que  $a_k$  y  $b_k$  son independientes, la función de correlación entre  $a$  y  $b$  está dada por la ecuación 5-7.

$$R_{ab}(\tau) = 0 \quad \dots\dots\dots(5.7)$$

Para un sistema como el mostrado en la figura 5-11, las respuestas al impulso de los dos filtros  $g(t)$  y  $h(t)$ , consisten tanto de una onda senoidal como de una onda cosenoidal para una onda de longitud  $T$ . Las ecuaciones 5-8 y 5-9 muestran las respuestas al impulso.

$$g(t) = \begin{cases} \cos(2\pi f_c t) & |t| \leq T/2 \\ 0 & |t| > T/2 \end{cases} \quad \dots\dots\dots(5-8)$$

$$h(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f_c t) & |t| \leq T/2 \\ 0 & |t| > T/2 \end{cases} \quad \dots\dots\dots(5-9)$$

En la ecuación 5-9, T es el período para un símbolo QAM. La transformada de Fourier se utiliza para hallar la respuesta en el dominio de la frecuencia tomando como base la respuesta al impulso en el dominio del tiempo. La transformada de la señal g está dada por la ecuación 5-10.

$$\begin{aligned} G(f) &= \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \cos(2\pi f_c t) e^{-j2\pi f t} dt \\ &= \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \left( \frac{e^{j2\pi f_c t} + e^{-j2\pi f_c t}}{2} \right) e^{-j2\pi f t} dt \\ &= \frac{1}{2} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} e^{j2\pi(f_c - f)t} + e^{-j2\pi(f_c + f)t} dt \\ &= \frac{1}{2} \left( \frac{e^{j2\pi(f_c - f)\frac{T}{2}} - e^{-j2\pi(f_c - f)\frac{T}{2}}}{j2\pi(f_c - f)} + \frac{e^{-j2\pi(f_c + f)\frac{T}{2}} - e^{j2\pi(f_c + f)\frac{T}{2}}}{-j2\pi(f_c + f)} \right) \quad \dots\dots\dots(5-10) \end{aligned}$$

En la ecuación anterior  $G(f)$  representa la función de transferencia del filtro  $g(t)$ . La igualdad de Euler se empleó para obtener la segunda línea de la ecuación. Nótese la última línea de la ecuación, en la cual cada término entre paréntesis tiene incluido un seno. De esta manera, la ecuación 5-10 se puede simplificar como se muestra en la ecuación 5-11.

$$G(f) = \frac{1}{2} \left( \frac{e^{j\pi(f-f_c)} - e^{-j\pi(f-f_c)}}{2j\pi(f-f_c)} + \frac{e^{-j\pi(f+f_c)} - e^{j\pi(f+f_c)}}{-2j\pi(f+f_c)} \right)$$

$$= \frac{1}{2} \left( \frac{\text{sen}(\pi T(f-f_c))}{\pi(f-f_c)} + \frac{\text{sen}(\pi T(f+f_c))}{\pi(f+f_c)} \right) \quad \text{.....(5-11)}$$

La igualdad de Euler se empleó de nuevo para obtener la segunda línea en la ecuación 5-11. Nótese que los términos en la sustracción y el seno del primer término se intercambiaron. El cambio de signo resultante tanto en el numerador como en el denominador se cancelan mutuamente. Nótese también que el resultado es la suma de dos funciones sinc, una de ellas centrada en  $f_c$  y otra centrada en  $-f_c$ . Como el valor de  $G$  será utilizado para hallar el espectro de la señal CAP, la magnitud elevada al cuadrado de la función de transferencia  $G$  será lo que se empleará. Considerando que la frecuencia  $f_c$  (a veces llamada la frecuencia central), es mucho mayor que  $1/T$ , entonces, los lóbulos de cada función sinc se omiten en la cercanía de el valor máximo de la otra función sinc. Con esta consideración, la magnitud de  $G$  elevada al cuadrado se calcula con la ecuación 5-12.

$$|G(f)|^2 \approx \left| \frac{\text{sen}(\pi T(f-f_c))}{\pi(f-f_c)} \right|^2 \quad \text{.....(5-12)}$$

Conociendo la autocorrelación de  $a$ , así como la función de transferencia  $G$ , la densidad espectral de la señal en el punto A de la figura 5-11, se obtiene con la ecuación 5-13.

$$DEP_A(f) = \frac{2\Im(R_{aa}(\tau))|G(f)|^2}{ZT}$$

$$= \frac{2V^2 \text{sen}^2(\pi T(f-f_c))}{\pi^2 ZT(f-f_c)^2} \quad \text{.....(5-13)}$$

La DEP (Densidad Espectral de Potencia) en el punto B en la figura 5-11 es idéntica a la mostrada en la ecuación 5-13. Este resultado es de esperarse dado que la autocorrelación de las entradas son idénticas y los filtros  $g$  y  $h$ , son simplemente versiones que difieren en la



fase una de otra (y la fase no contribuye en la magnitud de la respuesta elevada al cuadrado). Como las entradas a y b no están correlacionadas, las salidas en los puntos A y B de la figura 5-11 tampoco están autocorrelacionadas. De esta forma, la DEP a la salida del modulador, el punto C, es simplemente la suma de las DEP en los puntos A y B. Así, la DEP de una señal CAP se obtiene empleando la ecuación 5-14.

$$\begin{aligned}
 DEP_{CAP} &= DEP_A(f) + DEP_B(f) \\
 &= \frac{4V^2 \sin^2(\pi T(f - f_c))}{\pi^2 ZT(f - f_c)^2} \quad \dots\dots\dots(5-14)
 \end{aligned}$$

La impedancia de referencia para una señal CAP o QAM sobre par trenzado es de 100 ohms ( $Z = 100 \, \Omega$ ). El periodo por símbolo ( $T$ ) y la frecuencia central  $f_c$  no se especifican por el momento. Se pueden implementar diferentes combinaciones de  $T$  y de  $f_c$  para alcanzar diferentes velocidades de transmisión sobre el par trenzado. También, se pueden utilizar diferentes valores de  $T$  y  $f_c$  para hacer variar la banda de frecuencias utilizada. Para propósitos de ilustración, una señal CAP centrada en los 435.5 kHz con una velocidad de transmisión de 340 ksímbolos/s ( $T=1/340 \cdot 10^3 \, s$ ) se muestra en la figura 5-14.

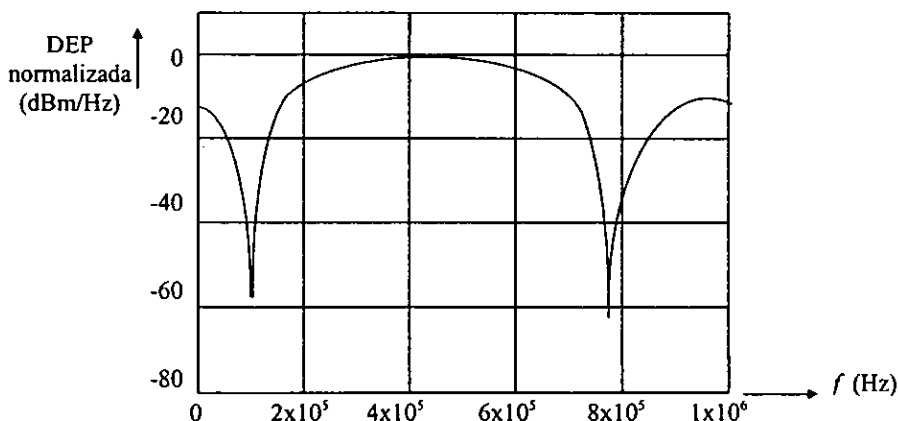


Figura 5-14. DEP normalizada para una señal CAP/QAM centrada en los 435.5 kHz

En la figura 5-14, el ancho del lóbulo central es aproximadamente dos veces la velocidad de transmisión en bauds. Un filtrado posterior puede reducir este ancho de banda en un factor de dos. Nótese también el nivel del lóbulo central en la figura 5-14 comparándolo con los lóbulos laterales. Los lóbulos laterales, representan la energía fuera de la banda principal empleada por CAP. Es más deseable tener los lóbulos laterales atenuados de forma que no causen severa diafonía en las otras líneas. La reducción de las bandas laterales también se puede obtener empleando filtrado.

### 5.1.7 DMT (Discrete Multitone)

DMT (Discrete Multitone) surgió en 1987 como resultado de los trabajos de investigación desarrollados por John M. Cioffi, un profesor de la Universidad de Stanford, y fue implementado recientemente por muchas razones, una de las cuales fue por que CAP y QAM eran insuficientes para todos los propósitos de las telecomunicaciones.

En DMT la señal a la entrada es inicialmente transformada de un formato serial a un formato paralelo y, entonces, se hace pasar a través de un proceso de transformada rápida de Fourier. Este proceso, transforma las señales del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. Estos valores son llevados a una salida en forma serial y convertidos de señales digitales a señales analógicas antes de su transmisión por un circuito ADSL. Este principio se muestra en la figura 5-15.

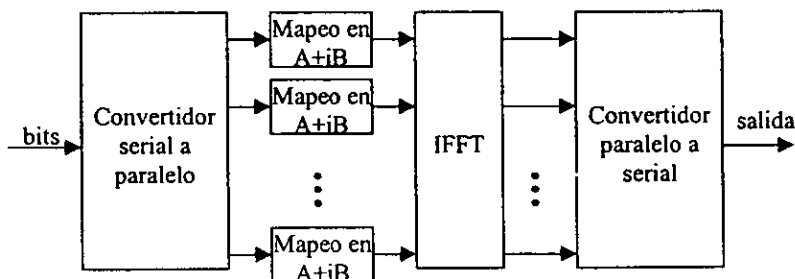


Figura 5-15. Diagrama simplificado de un modulador DMT.

DMT es una técnica de modulación, que divide el ancho de banda del medio de comunicaciones analógico en un gran número de subcanales igualmente espaciados. Estos canales son llamados subportadoras. El ancho de banda para DMT alcanza hasta los 1.1 MHz, utilizando par trenzado. Este ancho de banda es dividido en 256 subcanales de 4.3125 kHz, empezando desde los 0 Hz. Algunos de los canales son especiales, y otros no son empleados. Por ejemplo el canal #64 está reservado para una señal piloto. La figura 5-16 muestra el esquema de subportadoras empleado por DMT.

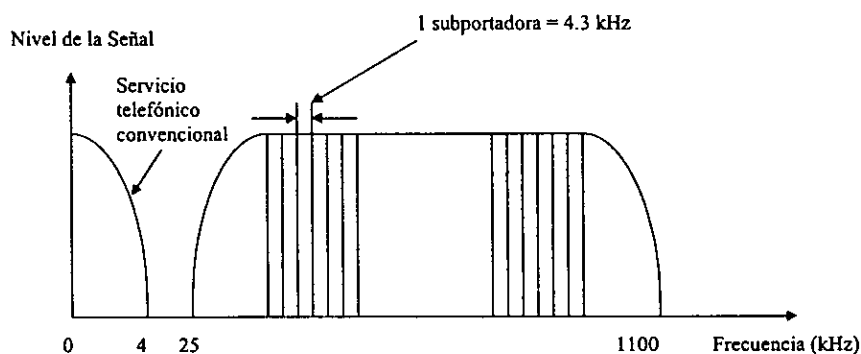


Figura 5-16 Esquema de subportadoras de DMT

La mayoría de los sistemas de DMT emplean solamente 249 ó 250 subcanales de información. Los canales inferiores, desde #1 hasta el #6 en la mayoría de los casos están reservados para la señal de voz de los 4 kHz, además de que se incluye una banda de guarda (de los 4kHz a los 25 kHz). Es una práctica común el emplear los 25 kHz como el punto de inicio para los servicios de ADSL. Es de notar que se emplea un gran ancho de banda como guarda entre la señal analógica de la voz y el servicio de ADSL (ADSL se explicará más adelante). En adición, las pérdidas en los canales superiores, tales como del #250 en adelante, son tan grandes que es difícil emplearlos para transmitir información.

Existen 32 canales en dirección hacia la central telefónica (upstream), comúnmente empezando en el #7, y existen 218 canales en dirección al abonado (downstream), lo cual le da a ADSL su sello característico de asimetría en el ancho de banda empleado. Cada uno de los subcanales es de 4.3125 kHz de ancho, y sólo cuando la cancelación de eco es empleada se utilizan los 250 subcanales de downstream. Solamente cuando se emplea FDM para el control del eco, hay típicamente 32 canales de upstream y sólo 218 o menos canales de

downstream para que éstos no se traslapen. Los canales de upstream ocupan el extremo inferior del espectro por dos razones. Primera, la atenuación de la señal es menor en esta parte y la transmisión del usuario comúnmente es de menor potencia que la transmisión desde la central telefónica. Segunda, existe más ruido del lado de la central telefónica con la posibilidad de diafonía, así de esta manera, es más cómodo emplear la parte baja del espectro de frecuencias para las señales de upstream.

Cuando los dispositivos que emplean DMT son activados, cada uno de los subcanales es probado por los dispositivos en los extremos para conocer la situación de la línea telefónica. En la práctica actual, la prueba es un caso complejo de reconocimiento entre dispositivos, y el parámetro que se emplea es la ganancia (el recíproco de la atenuación), así como del ruido presente en cada uno de los subcanales.

No todos los subcanales se emplean para transferencia de información, como se mencionó anteriormente. Algunos de ellos están reservados para funciones de manejo y medición del desempeño. Por ejemplo, en la dirección de downstream, solamente 249 de los 256 subcanales disponibles se emplean para transferir información. Comúnmente, cada uno de los numerosos subcanales emplea su propia técnica de codificación basada en QAM. De esta forma, existe un poco de QAM involucrado en DMT. La real ventaja de DMT no es tanto que sea diferente de CAP y QAM, pero sí lo es el monitoreo en el comportamiento de DMT; algunos subcanales transportarán más bits por baud que otros. La transferencia total es la suma de todos los bits enviados en todos los subcanales activos (algunos pueden estar completamente "apagados").

Mas aún, todos los subcanales son constantemente monitoreados en su comportamiento y en su tasa de error. La velocidad de cada subcanal o grupo de subcanales pueden variar, dando como resultado que DMT pueda variar su velocidad de transmisión en múltiplos de 32 kbps.

La figura 5-17 muestra la tecnología de multitono en operación bajo una línea telefónica común. La figura muestra en la parte superior una situación ideal, tal como se hallaría en un par de cobre de 24 AWG con menos de 5.5 km (18,000 pies) de longitud sin tomar en cuenta el ruido. Los únicos efectos de atenuación real vienen al involucrar distancias y frecuencias. La parte inferior de la figura muestra una línea de abonado típica en el mundo real.

Considérese primero el caso ideal. En el rango de frecuencias, del lado izquierdo, existe un máximo número de bits por segundo por subportadora (canal) que el transmisor desearía transmitir y recibir. Sin embargo, la figura de enmedio muestra la situación típica de una línea de abonado. La ganancia (el recíproco de la atenuación) es mejor o peor dependiendo de la frecuencia. A mayores frecuencias, los efectos de la distancia predominan; a menores frecuencias, la diafonía predomina. Esto deja un rango medio muy amplio (aproximadamente de los 25 kHz a los 1.1MHz) para las señales, con la ganancia disminuyendo conforme se incrementa la frecuencia.

Los dispositivos de DMT pueden medir la ganancia en cada subportadora y ajustar el número de bits por segundo por canal como reflejo de la ganancia de la línea. La parte superior derecha de la figura muestra este caso.

La parte inferior de la figura 5-17 muestra un circuito real. Dos impedimentos se han agregado. El primero es una disminución en la ganancia del circuito causada por el efecto de una derivación. La derivación actúa como un largo circuito de retardo debido a que la señal viaja y regresa. La señal de retorno interfiere con la señal principal. La ubicación de la disminución en la ganancia dentro del rango de frecuencias depende de la longitud de la onda y de la derivación en sí; sin embargo una frecuencia u otra pueden ser afectadas por la onda estacionaria. El segundo impedimento es el ruido proveniente de las estaciones de radio cercanas. Estas radiodifusoras transmiten en el mismo rango de frecuencias que el rango de los equipos de DMT y pueden influir en él. Debido a que los circuitos telefónicos simulan largas antenas, no es de sorprender que la señal sea captada por el circuito telefónico (la señal de la voz, operando en la banda base de los 4 kHz, es inmune a este tipo de interferencia).

Ya que los equipos en DMT pueden medir la ganancia en cada subportadora y ajustar el número de bits por segundo por canal para reflejar el perfil de ganancia actual, la parte inferior derecha de la figura 5-17 muestra este caso. También nótese que DMT es de velocidad de transmisión adaptativa, como lo muestra la figura, conforme el número de canales se incrementa o decrementa, así también tiene la habilidad de soportar determinada velocidad de transmisión.

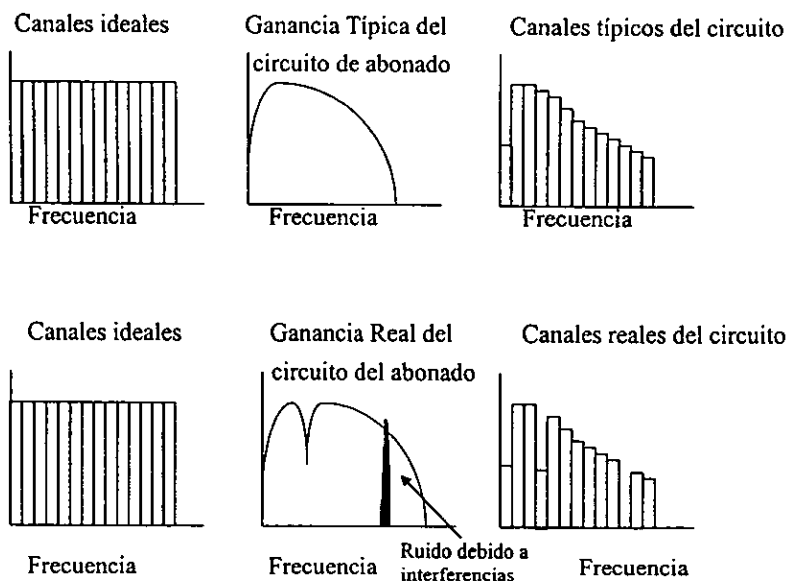


Figura 5-17. Operación de DMT

#### 5.1.7.1 Densidad espectral para DMT (Downstream)

Para ADSL, es necesario emplear dos modelos separados, uno para upstream y otro para downstream respectivamente como resultado de las diferentes velocidades de transmisión en cada dirección. Se pueden emplear diferentes métodos para calcular la Densidad Espectral de Potencia (DEP) de un sistema basado en ADSL. Un método razonable es simplemente hallar el valor teórico de la modulación DMT. Un segundo método es considerar la forma en que el transmisor fue implementado y crear un modelo matemático. Cada uno de éstos métodos tienen sus inconvenientes. La formalidad no siempre se aplica a implementaciones prácticas. El segundo método considera una implementación que puede variar dependiendo del diseño.

En la sección anterior se explicó que la generación de un símbolo empleando DMT es meramente representado por ondas senoidales y cosenoidales a diferentes frecuencias, ocupando anchos de banda de 4.3125 kHz. La frecuencia más baja utilizable es 34.5 kHz, y la más alta es 1.104 MHz. Todos los múltiplos de la frecuencia de 4.3125 kHz entre estos límites son empleados. Matemáticamente, es correcto decir que un seno y un coseno son

enviados utilizando una frecuencia de  $n \times 4.3125$  kHz con  $n=8,9,\dots,256$ . Una forma teórica de crear un símbolo en DMT es crear ondas senoidales y cosenoidales en todas las frecuencias necesarias y entonces sumarlas todas juntas. La ecuación 5-15 presenta la sumatoria para  $f_0=4.3125$  kHz.

$$s(t) = \sum_{n=8}^{256} (a_n \cos(2\pi n f_0 t) + b_n \sin(2\pi n f_0 t)) \quad \text{Para } 0 \leq t < \frac{1}{f_0} \quad \dots\dots\dots(5-15)$$

Para una suma única de senos y coseno en la ecuación 5-15 (esto es, “n” toma algún valor entre 8 y 256,  $n = m$ ), la expresión para el espectro de potencia se obtiene de la ecuación 5-14. La ecuación 5-16 proporciona una versión generalizada de la DEP.

$$\begin{aligned} DEP_m &= \frac{4V^2 \sin^2(\pi T(f - f_c))}{\pi^2 ZT(f - f_c)^2} \\ &= K_m \frac{\sin^2(\pi T(f - mf_0))}{\pi^2 (f - mf_0)^2} \quad \dots\dots\dots(5-16) \end{aligned}$$

Si las ondas senoidales y cosenoidales son independientes para un símbolo DMT, la DEP total es igual a la suma de todas las DEP derivadas de la ecuación 5-15. Así, la DEP teórica para un símbolo DMT se muestra en la ecuación 5-17.

$$DEP = \sum_{i=8}^{256} K_i \frac{\sin^2(\pi T(f - if_0))}{\pi^2 (f - if_0)^2} \quad \dots\dots\dots(5-17)$$

En la ecuación 5-17, K representa el valor esperado de todos los términos escalares en una ecuación típica de DEP (la impedancia terminal, el nivel de voltaje esperado). Para un sistema típico DSL este valor es aproximadamente de  $10^{-7}$ .

Un diseño que produce una DEP de acuerdo con el valor teórico dado por la ecuación 5-17 puede no representar el mayor interés para las tecnologías basadas en xDSL. Lo anterior se debe a que en algunas áreas, la plantilla propuesta por la ecuación 5-17 puede ser muy difícil de lograr (por ejemplo, cerca de los bordes de la banda de paso). En las regiones externas de la banda de paso, la plantilla podría ser menos restringida. Estas regiones pueden ser atenuadas con filtros de forma razonable, reduciendo la cantidad de diafonía acoplada en otras líneas con ADSL. Considerando una segunda opción, se puede tomar

como base una implementación básica de un modulador de DMT. Un símbolo de DMT se puede formar haciendo pasar un tren de impulsos  $v_k$  a través de un filtro. La forma de onda resultante es entonces filtrada por un filtro paso-altas y por un filtro paso-bajas y entonces la señal es enviada hacia el transmisor. Un diagrama de bloques de este proceso se muestra en la figura 5-18. Los impulsos son considerados como independientes uno de otro y con una distribución Gaussiana con una media de cero y una varianza de  $V^2$ . Una notación común para cada  $v_k$  podría ser  $N(0, V^2)$ .

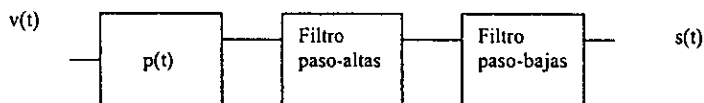


Figura 5-18. Un método común de producir una señal en ADSL

Como en los casos anteriores, la función continua en el tiempo  $v$ , describiendo el tren de impulsos, se puede escribir como en la ecuación 5-18.

$$v(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} v_k \delta(t - kT) \quad \text{.....(5-18)}$$

Considerando valores de  $v_k$  independientes, La ecuación 5-19 proporciona la función de autocorrelación,  $R_{vv}$ , de  $v$

$$R_{vv}(\tau) = V^2 \delta(\tau) \quad \text{.....(5-19)}$$

La DEP a la salida del transmisor es simplemente la transformada de Fourier de la ecuación 5-19 multiplicada por la magnitud al cuadrado de los espectros de cada uno de los filtros entre  $v$  y la salida. Se puede observar que el filtro paso-altas (HPF) y el filtro paso-bajas (LPF) son los filtros de los impulsos. La DEP de una señal ADSL de downstream está dada por la ecuación 5-20.

$$DEP_{ADSL}(f) = \frac{2\Im[R_{vv}(\tau)]|P(f)|^2 |HPF(f)|^2 |LPF(f)|^2}{ZT} \quad \text{.....(5-20)}$$



Un filtro razonable paso-bajas para ADSL en dirección downstream es un Butterworth de cuarto orden con una frecuencia de corte de 1.104 MHz. El valor cuadrático de la magnitud de su espectro está dada por la ecuación 5-21.

$$|LPF(f)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{1.104 \times 10^6}\right)^8} \quad \dots\dots\dots(5-21)$$

Un filtro paso-altas razonable utilizado para filtrar la señal de ADSL de downstream es un filtro de cuarto orden con 3 dB a los 20 kHz. Este filtro podría servir con el propósito de limitar el extremo bajo del espectro de ADSL del servicio telefónico convencional (POTS). La magnitud cuadrada de este espectro se muestra en la ecuación 5-22.

$$|HPF(f)|^2 = \frac{f^8}{f^8 + (20 \times 10^3)^8} \quad \dots\dots\dots(5-22)$$

La DEP completa para una señal ADSL downstream se muestra en la ecuación 5-23.

$$\begin{aligned} DEP_{ADSL}(f) &= \frac{2\Re[R_w(\tau)]P(f)^2 |HPF(f)|^2 |LPF(f)|^2}{ZT} \\ &= \frac{2V^2}{ZT} \left( \frac{\sin(\pi fT)}{\pi f} \right)^2 \left( \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{1.104 \times 10^6}\right)^8} \right) \left( \frac{f^8}{f^8 + (20 \times 10^3)^8} \right) \quad \dots\dots\dots(5-23) \end{aligned}$$

Para ADSL, Z (la impedancia de referencia) es de 100 ohms, y T esta dado por 1/(2.208 MHz). La DEP teórica para una señal de downstream de ADSL empleando DMT así como su valor calculado se muestran en la figura 5-19.

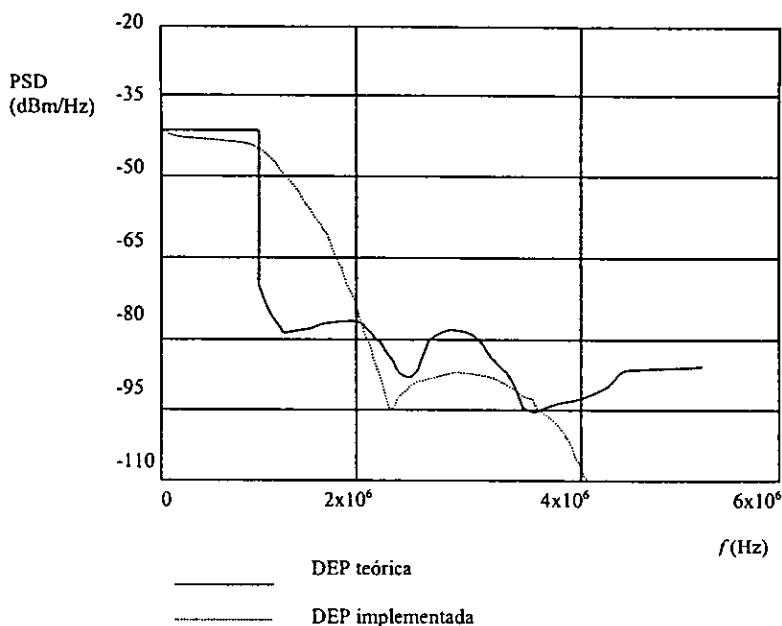


Figura 5-19. DEP teórica e implementada para un sistema ADSL (downstream) empleando DMT

Nótese que en algunas áreas el valor teórico de la DEP es el mayor (principalmente fuera de la banda de paso) de los dos; en otras ocasiones es menor (principalmente cerca de los extremos de la banda de paso). Una especificación más estricta en las regiones fuera de la banda de paso puede ser deseable para reducir la diafonía con otras líneas digitales.

### 5.1.7.2 Densidad espectral para DMT (Upstream)

Normalmente, la señal upstream ocupa el rango de frecuencias de los 25 kHz hasta los 138 kHz. Para un sistema con cancelación de eco, la señal de upstream se traslapa con la señal de downstream en esta región. Si se emplea el mismo análisis para hallar el valor teórico de la DEP como se empleó para el downstream de ADSL, entonces la expresión resultante será como la mostrada en la ecuación 5-24.

$$\begin{aligned}
 DEP &= \sum_{i=8}^{32} K_i \frac{\text{sen}^2(\pi T(f - if_0))}{\pi^2(f - if_0)^2} \\
 &= K \sum_{i=8}^{32} \frac{\text{sen}^2(\pi T(f - if_0))}{\pi^2(f - if_0)^2} \quad \dots\dots\dots(5-24)
 \end{aligned}$$

La ecuación 5-24 tiene los mismos componentes básicos de la ecuación 5-17, y K está dado por aproximadamente  $10^{-7}$ .

Puede ser creado un símbolo en DMT de upstream haciendo pasar un tren de pulsos a través de un filtro de pulsos a una velocidad de 276 kHz. La salida del filtro de pulsos es entonces enviada a través de un filtro de conformación. La figura 5-20 muestra dicho sistema.

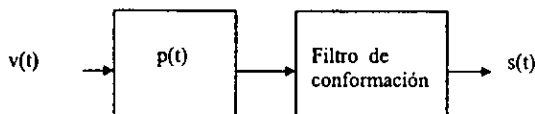


Figura 5-20 Un método para producir una señal en ADSL para upstream basado en DMT.

Si los impulsos son Gaussianos con valores estadísticos dados por  $N(0, V^2)$ , entonces la ecuación 5-21 y la ecuación 5-22 se aplican al tren de impulsos empleando la relación de autocorrelación, respectivamente. Siguiendo el tratamiento de una señal que pasa a través de un filtro como se hizo en la sección anterior, la salida DEP de la figura 5-20 puede ser escrita como en la ecuación 5-25.

$$\begin{aligned}
 DEP_{ADSL}(f) &= \frac{2\Im[R_{vv}(\tau)]P(f)^2|H_{as}(f)|^2}{ZT} \\
 &= \frac{2V^2}{ZT} \left( \frac{\text{sen}(\pi f T)^2}{\pi f} \right) |H(f)|^2 \quad \dots\dots\dots(5-25)
 \end{aligned}$$

En la ecuación 5-25, Z está dado por 100 ohms, y T es  $1/(276 \times 10^3)$  s. En la especificación original para la DEP de downstream, se emplea una plantilla genérica para

modelar la magnitud del filtro. Matemáticamente, esta plantilla está dada por la ecuación 5-26.

$$[H(f)]^2 = \begin{cases} 10^{\frac{-38-30}{10}} & f < 138\text{kHz} \\ 10^{\frac{-38-24\left(\frac{f-13800}{43125}\right)-30}{10}} & f > 138\text{kHz} \end{cases} \dots\dots\dots(5-26)$$

## 5.2 Características de las tecnologías xDSL

Las técnicas xDSL son una familia de tecnologías de acceso que permiten convertir las líneas telefónicas comunes de cobre en líneas de comunicación de alta velocidad, para así poder tener acceso a un mayor número de servicios con cada vez mayor ancho de banda. El prefijo “x” de xDSL se refiere a una literal genérica para este tipo de tecnologías; es decir, al nombrar alguna tecnología en particular, se substituye el prefijo “x” por su correspondiente literal para referirse a alguna tecnología en particular. Estas tecnologías son HDSL, SDSL, CDSL, ISDL, VDSL y ADSL.

A continuación se mencionarán las características generales que distinguen a cada una de las tecnologías xDSL. Mientras que, en el capítulo 6, se hará un estudio más profundo de estas tecnologías mediante un análisis comparativo de sus características en particular.

### 5.2.1 ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)

La técnica ADSL se ha convertido en la base para que muchos operadores de servicios proporcionen alta velocidad de acceso, sin un gasto excesivo, ya que el mayor es el par trenzado, que ya se tiene. ADSL puede verse como un medio de transición entre las líneas telefónicas actuales de cobre y las futuras comunicaciones por fibra óptica. Esta característica es lo que vuelve interesante a ADSL para las compañías telefónicas prestadoras de servicio local; estas compañías pueden ofrecer a los usuarios servicios de alta velocidad antes de realizar la transición hacia la fibra óptica.

El nombre de ADSL fue acuñado por un investigador de Bellcore, Joe Lechleider, en 1989, y se refiere a una tecnología, con aplicación en la etapa entre el usuario y la central telefónica. Como su nombre lo dice, ADSL transmite en forma asimétrica, con mucho mayor velocidad para el abonado hasta un máximo establecido de 8.448 Mbps, y mucho menos en dirección de la central telefónica en un rango de 16 kbps a 640 kbps [5].

Un circuito ADSL conecta dos módems ADSL en cada extremo de la línea telefónica de par trenzado, creando tres canales de comunicación, un canal de alta velocidad en dirección del usuario, un canal de media velocidad en dirección de la central telefónica y un tercer canal que permite mantener el servicio telefónico convencional. El servicio telefónico convencional (POTS - Plain Old Telephone Service) se separa de los módems digitales empleando filtros, garantizando de esta forma el servicio telefónico básico aún si ADSL llegase a fallar.

La razón de la asimetría tiene muy poco que ver con la tecnología de transmisión, pero si mucho que ver con la instalación telefónica. Esto es debido a que si se tratasen de mandar señales de manera simétrica en muchos pares trenzados dentro de un mismo cable, se limitaría significativamente la velocidad de transmisión y la longitud de la línea; la mayoría de las aplicaciones para servicios digitales son asimétricas, como por ejemplo:

- Video por demanda.
- Compras por videocatálogo.
- Acceso a Internet.
- Acceso remoto a redes LAN.
- Acceso a multimedia.
- Servicios especializados para PC's.

Todos estos servicios demandan altas velocidades en dirección del abonado, pero relativamente bajas velocidades hacia la central telefónica.

Así que ADSL tiene un rango de velocidades hacia el abonado dependiendo de la distancia y el calibre del conductor, obteniendo la siguiente tabla[6][7]:

| Vel. de transmisión | Calibre (AWG) | Distancia (ft) | Diámetro (mm) | Distancia(km) |
|---------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| 1.5 ó 2.048 Mbps    | 24            | 18, 000        | 0.5           | 5.5           |
| 1.5 ó 2.048 Mbps    | 26            | 15, 000        | 0.4           | 4.6           |
| 6.312 Mbps          | 24            | 12, 000        | 0.5           | 3.7           |
| 6.312 Mbps          | 26            | 9, 000         | 0.4           | 2.7           |
| 8.448 Mbps          | 24            | 9, 000         | 0.5           | 2.7           |

Tabla 5-1. Comparación de las velocidades dependiendo de la distancia y el conductor.

ADSL opera en una banda de frecuencias por arriba de las empleadas en el POTS (Plain Old Telephone Service), dejando el servicio de POTS independiente (aún si llegara a fallar el módem de ADSL) esto se muestra en la figura 5-20 [8].

Como ADSL puede transmitir video comprimido digitalmente, además de otras señales, ADSL incluye capacidad de corrección de error con la intención de reducir los efectos del ruido impulsivo en las señales de video. La corrección de errores introduce tiempo de retraso, lo cual es inaceptable para aplicaciones basadas en conexiones LAN o comunicaciones IP. Por lo tanto ADSL debe ser capaz de reconocer el tipo de señal que está transmitiendo, para saber si debe o no aplicar control de errores. Como consecuencia de lo anterior, ADSL puede ser empleado para conmutación por circuitos (lo que ofrecen las centrales telefónicas), conmutación por paquetes (tales como ruteadores IP), y eventualmente datos conmutados por ATM. ADSL será capaz (en un futuro) de conectar computadoras personales y aparatos de televisión al mismo tiempo.

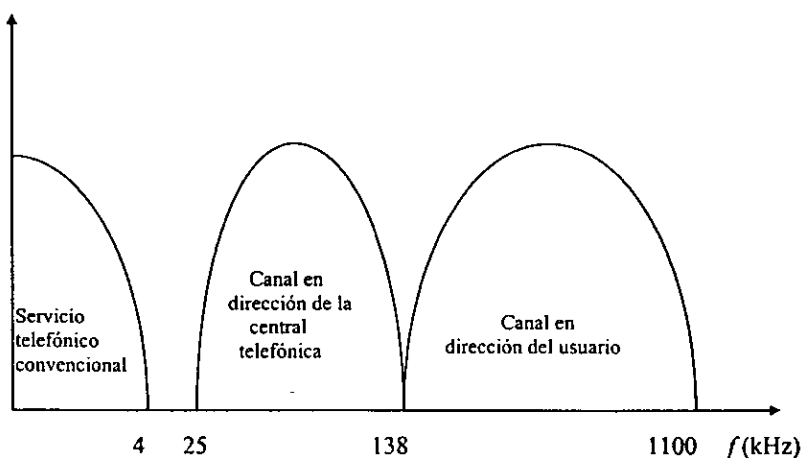


Figura 5-20. Frecuencias que emplean ADSL y el servicio telefónico convencional.

ADSL jugará un papel crucial en los próximos años, cuando las compañías telefónicas cuenten con nuevos mercados para enviar información en video y señales multimedia. El éxito de este nuevo tipo de tecnología dependerá del alcanzar todas las expectativas de los subscriptores como sea posible durante los primeros años, llevando películas, televisión, catálogos de videos, CD-ROMs remotos, LANs corporativas e Internet hasta las casas y los pequeños negocios.

### **5.2.2 HDSL (High data rate Digital Subscriber Line)**

HDSL es simplemente el mejor camino para transmitir T1 o E1 sobre líneas de par trenzado. Esta tecnología utiliza menos ancho de banda y no requiere repetidores. Utilizando técnicas de modulación más avanzadas, HDSL transmite 1.544 Mbps ó 2.048 Mbps en un rango de frecuencias de 80 kHz a 240 kHz, dependiendo de las especificaciones técnicas. HDSL proporciona esas velocidades en líneas hasta de 3.66 km de longitud (para un calibre de 24 AWG) en el Área de Servicio de Llamada (CSA - Calling Serving Area), empleando dos líneas para T1 y tres para E1, cada una operando a la mitad o un tercio de la velocidad total de transmisión.

Las aplicaciones típicas incluyen conexiones de PBX's, estaciones de antenas celulares, intercambio entre servidores de Internet para centrales telefónicas y redes privadas de datos. Debido a que HDSL es la tecnología más madura de las xDSL existentes con velocidades de arriba de 1 Megabit por segundo, será empleada en sitios de rápida aplicación en Internet y acceso a redes LAN, pero al parecer será substituida por ADSL en el futuro.

### **5.2.3 SDSL (Symmetric Digital Subscriber Line)**

En apariencia SDSL es simplemente una versión de HDSL para líneas individuales. Transmitiendo señales de T1 o E1 por un único par trenzado, y (en la mayoría de los casos) operando en la red telefónica convencional (POTS - Plain Old Telephone Service), teniendo en cuenta que una línea individual puede soportar POTS y T1/E1 simultáneamente. Sin embargo SDSL tiene una importante ventaja comparado con HDSL apropiada para el mercado de los usuarios con el empleo de sólo una línea telefónica. SDSL será útil en aplicaciones con requerimientos de simetría en sus transmisiones (tales como servidores y usuarios poderosos de redes LAN), y más aún, es complemento de ADSL. Es de notarse,

sin embargo que SDSL no alcanzará más allá de los 3 km, una distancia sobre la cual ADSL alcanza velocidades arriba de los 6 Mbps.

#### **5.2.4 CDSL (Consumer Digital Subscriber Line)**

Aunque cercanamente relacionado con ADSL y RADSL, CDSL es más modesto en términos de velocidad y distancia comparándolo con ADSL/RADSL, pero tiene una sola ventaja a su favor. Con CDSL, no es necesario preocuparse por los equipos remotos conocidos como divisores o splitters ubicados en el lado del usuario. La función de un divisor en el lado del usuario es la de permitir la existencia de un teléfono analógico y otros equipos, como el fax, para que continúen operando como hasta ahora.

#### **5.2.5 IDSL (ISDN Digital Subscriber Line)**

Esta técnica toma los canales normales 2B+D de un sistema RDSI (ISDN) con las velocidades básicas establecidas. El canal opera a 144 kbps (2 canales B a 64 kbps y un canal D a 16 kbps). IDSL corre sobre par trenzado y puede alcanzar distancias de hasta 5.5 km (18,000 pies), exactamente igual que RDSI.

#### **5.2.6 VDSL (Very high data rate Digital Subscriber Line)**

La técnica VDSL se conoció inicialmente como VADSL, por lo menos en sus primeras versiones. VDSL emplea transceptores asimétricos a velocidades de transmisión mayores que ADSL pero sobre líneas telefónicas de corta longitud. Dado que no existen aún estándares para VDSL, la discusión se ha centrado alrededor de las siguientes velocidades hacia el abonado[9]:

| <u>Velocidad de transmisión</u> | <u>Distancia</u> |               |
|---------------------------------|------------------|---------------|
| 12.96 Mbps (1/4 STS-1)          | 1,500 m          | (4, 500 pies) |
| 25.92 Mbps (1/2 STS-1)          | 1,000 m          | (3, 000 pies) |
| 51.84 Mbps (STS-1)              | 300 m            | (1, 000 pies) |



Las velocidades hacia la central telefónica han sido sugeridas en el rango de 1.6 Mbps hasta 2.3 Mbps.

En muchas formas VDSL es más simple que ADSL, líneas más cortas imponen muchas menos restricciones, así que la tecnología básica para los transceptores es mucho menos compleja, y aún así es diez veces más rápida. VDSL sólo se emplea para redes con arquitectura para ATM (Asynchronous Transfer Mode), obviando la canalización y los requerimientos del manejo de paquetes impuesto por ADSL. Además VDSL admite el uso de terminadores pasivos de red, habilitando más de un módem VDSL para ser conectado a la misma línea del abonado, de forma muy parecida como una extensión del teléfono como el empleado por el servicio telefónico convencional (POTS ).

Sin embargo, el panorama se complica bajo una inspección más minuciosa. VDSL deberá proveer corrección de errores, una de las funciones indispensables para los transceptores de ADSL. Además, ATM no ha sido desarrollado aún para ser empleado en las redes telefónicas conmutadas, VDSL será solicitado para transmitir en un tráfico convencional de conmutación por paquetes y por circuitos; y los terminadores pasivos tienen un gran número de problemas, algunos técnicos y algunos de regulación, lo cual llevará a una versión de VDSL que parecerá idéntica a ADSL excepto en su capacidad para altas velocidades de transmisión. VDSL operará en POTS y en ISDN, ambos separados mediante filtros pasivos.

#### **5.2.7 Otros términos empleados para nombrar a las tecnologías xDSL**

VDSL había sido llamado "ADSL" o "BDSL" hasta junio de 1995, cuando T1E1.4 eligió a "VDSL" como la nomenclatura oficial. Los otros términos aún aparecen en documentos técnicos creados antes del acuerdo antes mencionado. ETSI TM3, la contra parte europea de T1E1.4 también ha adoptado "VDSL" como nombre oficial, pero temporalmente se le agrega una "e" minúscula para indicar que, hasta que se dispersen las dudas, la versión europea de VDSL será un poco diferente de la de Estados Unidos. Éste es el mismo caso con HDSL y ADSL, aunque no hay convenios que reflejen las diferencias en el nombre. Además, las diferencias son suficientemente pequeñas (esencialmente acerca de las velocidades de transmisión), que la electrónica es capaz de ajustarse a cualquier circunstancia.

Recientemente ha surgido un nuevo miembro en la familia de xDSL, y es el llamado RADSL (Rate-adaptative ADSL) y como su nombre lo indica, es una versión de ADSL que permitirá adaptar la velocidad de transmisión de los equipos dependiendo de las condiciones de la línea telefónica en el momento de la comunicación. En la práctica, ADSL y RADSL terminarán empleando el mismo tipo de módems ya que por naturaleza, los actuales esquemas de modulación para ADSL permiten una velocidad de transmisión que se ajusta siempre al inicio de cada comunicación entre equipos.

### 5.3 Inconvenientes en las transmisiones por par trenzado

Alexander Graham Bell inventó el par trenzado, para minimizar (entre otras cosas) el acoplamiento de señales de un par a otro adyacente. Sin embargo, el proceso no es perfecto. Las señales interfieren unas con otras creando diafonía y esto se incrementa conforme aumenta la distancia y la frecuencia. En general existen ocho diferentes parámetros, ya sean naturales o de construcción en las líneas telefónicas, que afectan el comportamiento en la transmisión de la información a través del par trenzado. Estos inconvenientes provocan un decremento en la tasa de transmisión al emplear módems u otros sistemas de transmisión de información. Estos inconvenientes se mencionarán a continuación.

#### 5.3.1 Ruido

Este parámetro puede ser inherente al diseño de la línea o puede ser inducido por transitorios en las líneas. Existen varios tipos de ruido dependiendo de su naturaleza:

- **Ruido Gaussiano.** También llamado ruido blanco, térmico o ruido de disparo[10], este ruido es el ruido constante que se escucha como fondo en una conversación telefónica. Es el ruido, resultado de muchas corrientes eléctricas independientes o pulsos de voltaje tales como el movimiento aleatorio de electrones en una línea.
- **Ruido impulsivo.** El cual es un ruido debido a variaciones de energía con duración desde unos cuantos milisegundos hasta cientos de milisegundos. Es causado por: tormentas eléctricas, equipos de conmutación y señalización, fuentes de poder y otros sistemas eléctricos.

- **Ruido de diafonía.** Causado por una señal proveniente de otro par de cobre adyacente. En general, se reconocen dos tipos de diafonía: la paradiafonía (diafonía del extremo cercano) o NEXT (Near-end Crosstalk) y la telediafonía (diafonía del extremo lejano) o FEXT (Far-end Crosstalk). La paradiafonía se caracteriza por que el disturbio proviene de un transmisor ubicado en el mismo extremo que el equipo afectado por la diafonía. En el caso de la telediafonía, la fuente de la diafonía se encuentra en el extremo opuesto al equipo que resiente el disturbio.

Como se muestra en la figura 5-21, se vuelve obvio que la paradiafonía ocurre con mucho menos distancia para de afectar a la línea adyacente.

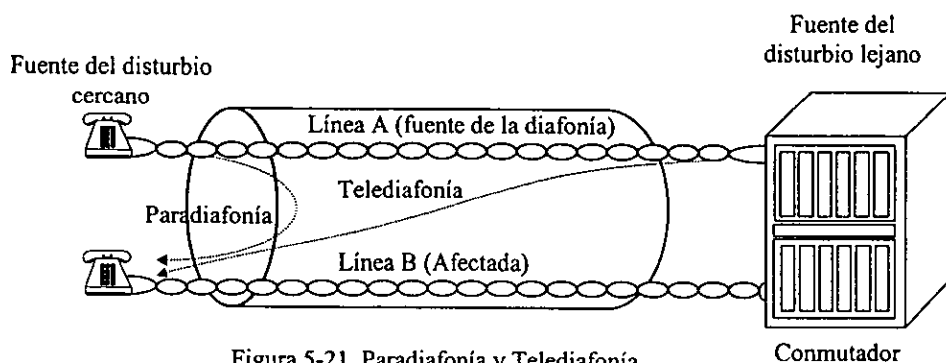


Figura 5-21. Paradiafonía y Telediafonía

- **Ruido por aterrizaje en la línea.** Es debido a diferencias de potencial entre dos niveles de tierra diferentes al aterrizar el blindaje de una línea telefónica.
- **Ruido de cuantización.** Siendo el resultado de la diferencia entre la señal original (analógica) y su equivalente valor cuantizado. Un CODEC (CODificador / DECodificador) se emplea para convertir las señales analógicas en señales digitales para su transmisión a través de enlaces de alta velocidad. Los codecs son empleados típicamente en los enlaces troncales. Actualmente la mayoría de los codecs operan a una velocidad de 64 kbps. Algunos servicios telefónicos de bajo costo emplean codecs a 32 kbps con codificación delta adaptativa para permitir dos veces más llamadas que empleando un codec a 64 kbps a través del mismo tipo de troncal. Sin embargo los codecs a 32 kbps producen mayor ruido de cuantización.

- **Ondas reflejadas y ondas estacionarias.** Las cuales son causadas por la mezcla de diferentes impedancias entre el aparato transmisor y la línea telefónica local, lo cual provoca que la señal se refleje hacia la fuente transmisora. El retardo es comúnmente menor a 1 milisegundo.
- **Eco.** Es un tipo de ruido producido por la reflexión de la señal transmitida desde un punto distante en la red telefónica, en donde las impedancias de la línea no son similares. La mayoría de estas reflexiones ocurren en los componentes híbridos que convierten los dos alambres telefónicos en cuatro conductores los cuales se emplean para interconectar las centrales telefónicas. El retardo del eco varía de 50 ms hasta 100 ms para enlaces terrestres y hasta 700 ms en enlaces que implican comunicación con satélites. Los circuitos telefónicos más antiguos eliminan el eco utilizando supresores de eco. Sin embargo, los nuevos circuitos terrestres y satelitales emplean canceladores de eco (circuitos electrónicos que cancelan el eco mediante la sustracción del eco producido al transmitir). La diferencia entre el eco y las ondas reflejadas el tiempo del retardo siendo mayor para el eco.

### 5.3.2 Atenuación

Este defecto se refiere a la pérdida de los niveles en la señal conforme pasa a través de la línea telefónica. Tales pérdidas de energía se miden normalmente en decibeles (dB). Las ecuaciones para el cálculo en dB son:

$$\text{Atenuación} = 10 \log (\text{potencia de salida/potencia de entrada}) [\text{db}]$$

$$\text{Atenuación} = 20 \log (\text{voltaje de salida/voltaje de entrada}) [\text{db}]$$

### 5.3.3 Distorsión por atenuación

La distorsión por atenuación se refiere a las pérdidas en los niveles de la señal, que afectan a los diferentes componentes de frecuencias de la señal transmitida. Estas pérdidas son comúnmente mayores en los extremos de la banda de paso (altas y bajas frecuencias). Entre las causas que producen estas pérdidas, se encuentran las reactancias capacitivas e inductivas, los filtros en los sistemas de transporte de la señal, las cargas inductivas

(actuando como filtros paso-bajas), transformadores, y series de capacitores (actuando como filtro paso-altas).

#### **5.3.4 Distorsión por retardo de grupo**

El cuarto tipo de deterioro en la transmisión por par trenzado, es la distorsión debida al retardo de grupo. Esta es una no-linealidad de la fase en donde el retardo es mayor en los extremos de la banda de paso. El retardo de grupo afecta o modifica la relación de tiempo entre varias componentes de frecuencias para una señal transmitida. En otras palabras, las componentes de altas y bajas frecuencias de la señal emplean más tiempo en atravesar la red telefónica que las componentes de frecuencias centrales (1,800 Hz). Este retardo es producido por reactancias capacitivas e inductivas en la red.

#### **5.3.5 Translación de frecuencia**

Este parámetro afecta a la señal que viaja por el par de cobre y consiste en el desplazamiento de las componentes de frecuencia de la señal modulada hacia otras frecuencias. Estos desplazamientos en la frecuencia son debidos generalmente a las variaciones del oscilador al modular o a una translación de frecuencia dentro del sistema telefónico. El desplazamiento puede ser positivo (desplazamiento hacia una mayor frecuencia) o negativo (desplazamiento hacia una frecuencia menor).

#### **5.3.6 Jitter**

El jitter puede ser de dos tipos: jitter de fase o jitter de amplitud. El jitter de fase es un tono puro, con un espectro de FM asociado. En algunos casos este espectro es aleatorio, y en otros casos, toma la forma de frecuencias discretas de la corriente de CA. El jitter de fase es causado por el acoplamiento de las líneas de alimentación y de los sistemas de timbrado. El jitter de amplitud es un tono que tiene un espectro de AM. Las causas del jitter de amplitud son similares a las causas que provocan el jitter de fase.

### **5.3.7 Distorsión por intermodulación**

La distorsión por intermodulación (IMD – Intermodulation Distortion) es a veces llamada distorsión no lineal [11]. La diferencia entre distorsión por armónicas y distorsión por intermodulación es el método empleado para su medición. La IMD es medida con cuatro tonos, y la distorsión por armónicas es medida con dos tonos.

### **5.3.8 Transitorios**

Los transitorios no se encuentran en forma constante en la línea telefónica, se presentan repentinamente [12]. La pérdida de la señal es un transitorio que resulta en una repentina reducción en el nivel de la señal, lo cual puede durar más de varios milisegundos. Por otra parte, existen los incrementos repentinos en el nivel de la señal que también pueden durar varios milisegundos. Los transitorios de fase dan como resultado cambios en la fase de la señal. Los transitorios de fase son causados por el cambio de señal portadora en los sistemas de conmutación. El ruido impulsivo es considerado a veces un transitorio.

## Referencias

- [1] RODEN, Martín S, Analog and Digital Communication Systems, 4ª. ed., Prentice Hall USA, 1994, pág. 480.
- [2] TOMASI, Wayne., Electronic Communications Systems, 2a. ed., Prentice Hall, USA, 1994, pág. 487.
- [3] GORALSKY, Walter, ADSL and DSL technologies, 1a. ed. McGraw-Hill, USA, 1998, pág. 186.
- [4] Ibídem, pág. 184.
- [5] Frequently Asked Questions.  
<http://www.adsl.com/faq.html>
- [6] Ídem.
- [7] KIM Maxwell. "Interim technology for the next forty years", IEEE Communications Magazine. Octubre 1996, pág.102.
- [8] ADSL.  
<http://www.cs.tamu.edu/people/jhamann/adsl/node4.html>
- [9] Frequently Asked Questions.  
<http://www.adsl.com/faq.html>
- [10] Douglas Jack. How to find phone-line faults and what to do about them. Data Communications. Septiembre 1988, pág. 179.
- [11] Ibídem, pág. 182.
- [12] Ibídem, pág. 185.

# CAPÍTULO 6

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN POR PAR TRENZADO

---

El aumento vertiginoso en el uso de diversos servicios como la videoconferencia, la transmisión de datos e Internet, no sólo por los usuarios domésticos, sino también por las grandes empresas, junto con la implementación de la infraestructura de telecomunicaciones, está volviendo el mercado cada vez más ávido por una velocidad mayor, para las múltiples transmisiones a ser realizadas

En efecto, es cada vez más grande la demanda por mayor rapidez en todos los tipos de comunicación a distancia, principalmente en aquellos que dependen de líneas telefónicas. Desgraciadamente, en América Latina, e inclusive en otras partes del mundo, son extremadamente lentas.

No es desconocido el hecho de que el alto tráfico originado por Internet y otros servicios anteriormente mencionados ya está causando problemas de congestión en algunas redes telefónicas públicas, ya que éstas fueron proyectadas e instaladas apenas para transmitir sólo una llamada telefónica y no para establecer y mantener una conexión de otro tipo de servicio como lo es Internet.

Como se menciona en el capítulo 1, la lentitud para acceder a otros servicios, ha originado frustración entre los usuarios. Para mejorar la red de acceso se pueden seguir dos caminos: invertir en infraestructura basándose en fibra óptica, con gran ancho de banda y capacidad para futuras aplicaciones, y la otra opción es la reutilización de la red de cobre existente (par trenzado), mediante la introducción de técnicas de módems de mayor ancho de banda.

Las tecnologías xDSL en sus múltiples formas están a la vanguardia en las conexiones de alta velocidad sobre el par trenzado de cobre existente. Dentro de las tecnologías xDSL se tienen los siguientes tipos: alta tasa de bits DSL (HDSL), DSL simétrico (SDSL), DSL



asimétrico (ADSL) y muy alta tasa de bits (VDSL). En este capítulo se hará una comparación de los diferentes tipos tecnologías xDSL existentes considerando ciertas características que deben ser tomadas en cuenta.

## 6.1 Velocidades de transmisión

Como se pudo ver en el capítulo 5, cada una de las tecnologías basadas en xDSL propone un rango de velocidades de transmisión, sin embargo es posible efectuar una comparación de estas velocidades considerando los rangos de velocidades de transmisión propuestos para cada técnica en especial.

| Técnica | Velocidad en dirección de la central telefónica | Velocidad en dirección del abonado | Modo       |
|---------|---|------------------------------------|------------|
| HDSL    | 1,544 kbps<br>2,048 kbps                        | 1,544 kbps<br>2,048 kbps           | Simétrico  |
| HDSL2   | 1,544 kbps<br>2,048 kbps                        | 1,544 kbps<br>2,048 kbps           | Simétrico  |
| VDSL    | 1,500 kbps a 2,300 kbps                         | 12,960 kbps a 51,840 kbps          | Asimétrico |
| ADSL    | 16 kbps a 640 kbps                              | 1,500 kbps a 8,448 kbps            | Asimétrico |
| ISDL    | 144 kbps  | 144 kbps                           | Simétrico  |
| CDSL    | 128 kbps  | 1,000 kbps                         | Asimétrico |
| SDSL    | 1,544 kbps<br>2,048 kbps                        | 1,544 kbps<br>2,048 kbps           | Simétrico  |

Tabla 6-1 Velocidades de transmisión alcanzadas por cada tecnología

Como se observa en la tabla 6-1, la velocidad máxima en dirección hacia el usuario es la propuesta por VDSL con 51.8 Mbps, mientras que la velocidad mínima es de 144 kbps establecida para ISDSL. Se considera que una velocidad de transmisión hacia el abonado (downstream) de 1.5 Mbps es suficiente para transportar películas con la misma calidad de una videocasetera. De esta manera otros servicios tales como Internet serían fácilmente cubiertos con un ancho de banda mínimo de 1.5 Mbps. Esto es posible debido a que la mayoría de los servicios demandados por los usuarios son de naturaleza asimétrica.

Para el caso de HDSL, se requieren de dos líneas de par trenzado cuando se transmite a 1.544 Mbps y se necesitan tres líneas de par trenzado para transportar 2.048 Mbps, cada una de ellas operando a la mitad o a un tercio de su velocidad total respectivamente.

Recuérdese también que "downstream" es el término que se emplea para denominar la transmisión de información hacia el usuario y, "upstream" es la transmisión hacia la central telefónica.

Aunque actualmente no es un hecho, se ha planteado la posibilidad de que VDSL trabaje de forma simétrica, es decir, con la misma velocidad de transmisión en ambos sentidos para su utilización en distancias cortas.

## 6.2 Longitudes de transmisión

Es imposible emplear como factor decisivo la velocidad de transmisión, sin tomar en consideración la distancia que puede alcanzar cada una de las técnicas de transmisión a alta velocidad, empleando el par trenzado de cobre. La longitud de la línea de cobre repercute en pérdidas y otros efectos, tal y como se mencionó en el capítulo 5. Cada una de las tecnologías xDSL tiene una distancia máxima alcanzable, la cual está determinada por la velocidad de transmisión que ofrece. La máxima distancia alcanzable la propone ADSL siendo de 5.4 km a una velocidad de 1.544 Mbps

| Tecnologías | Longitudes alcanzadas   |
|-------------|---|
| HDSL        | 3.66 km (12,000 pies)   |
| SDSL        | 3 km (10,000 pies)  |
| ADSL        | Hasta 5.49 km (18,000 pies) para 1.544 Mbps<br>4.88 km (16,000 pies) para 2.048 Mbps<br>3.66 km (12,000 pies) para 6.312 Mbps<br>2.74 km (9,000 pies) para 8.448 Mbps |
| VDSL        | Hasta 1.37 km (4,500 pies) para 12.96 Mbps<br>0.91 km (3,000 pies) para 25.92 Mbps<br>0.30 km (1,000 pies) para 51.84 Mbps  |

Tabla 6-2. Distancias alcanzadas por las diferentes tecnologías xDSL

### 6.3 Técnicas de modulación

CAP y DMT son dos técnicas de modulación existentes actualmente en el mercado para ser empleadas por las tecnologías xDSL. Cada tipo de modulación tiene sus propias características y sus propios proveedores de tecnología. Sin embargo, el estándar seleccionado por el ANSI para ADSL es DMT. A pesar de ello, el empleo de QAM Y CAP como técnicas de modulación no ha disminuido y por el contrario, se espera que en la segunda versión del estándar propuesto por el ANSI se incluya un apartado para incluir QAM/CAP además de DMT.

Por su naturaleza digital, los fabricantes de procesadores digitales de señales (DSP's) prefieren el uso de DMT por su fácil adopción en el campo del procesamiento digital. Aunque no por ello los circuitos integrados desarrollados para realizar tareas específicas son de menor interés.

### 6.4 Estándares

Existen ciertos estándares. Los cuales especifican la manera de cómo deberán comportarse los equipos xDSL de forma general. Sin embargo no todas las técnicas xDSL cuentan con un estándar como se verá a continuación.

Un grupo de estándares llamado T1E1.4 del Instituto Nacional Americano de Estándares de los Estados Unidos (ANSI - American National Standards Institute) aprobó en 1995 un estándar de ADSL con velocidades de hasta 6.1 Mbps (Estandar ANSI T1.413). El Instituto de Estándares técnicos Europeo (ETSI - European Technical Standards Institute) contribuyó con un anexo al T1.413 para reflejar los requerimientos europeos, actualmente involucra una interfase terminal única del lado del usuario. La versión II ahora en estudio por el T1E1.4, realiza cambios al estándar para incluir una interfase multiplexada del extremo del usuario, además de protocolos para configuración y manejo de la red y otras mejoras. El grupo de estudio 15 de la UIT, también se encuentra realizando trabajos para estandarizar ADSL y ha adoptado a DMT como la técnica de modulación para equipos ADSL.

El ANSI (American National Standards Institute) en los Estados Unidos, también ha establecido un estándar para las tecnologías HDSL y HDSL2. La UIT (Unión Internacional

de Telecomunicaciones) así como la ETSI, también han establecido recomendaciones para el empleo de HDSL. El resto de las tecnologías xDSL no cuentan con un estándar reconocido. VDSL se encuentra en proceso de estandarización y algunas otras tecnologías no cuentan con el suficiente impulso como para ser tomadas en cuenta por algún organismo regulador el cual promueva estándares para estas tecnologías no consideradas.

## 6.5 FDM y cancelación de eco

Para crear múltiples canales, los módems xDSL dividen el ancho de banda disponible de la línea telefónica de dos maneras diferentes: La primera es utilizando multiplexaje por división de frecuencia (FDM - Frequency Division Multiplexing) y el segundo método es emplear la cancelación de eco. FDM asigna cierto ancho de banda para transportar datos en dirección del abonado y otro ancho de banda hacia la central telefónica. La ruta hacia el abonado, es entonces separada empleando multiplexaje por división de frecuencia en uno o más canales de alta velocidad y uno o más canales de baja velocidad. La ruta hacia la central telefónica es también multiplexada en sus correspondientes canales de baja velocidad. La cancelación de eco es el proceso que hace posible asignar el ancho de banda empleado para la comunicación hacia la central telefónica de manera que se trasape con la banda del abonado. Las señales de transmisión y de recepción se separan por medio de cancelación de eco de manera local. Ambas técnicas (FDM y cancelación de eco), se encuentra separadas de la región de los 4 kHz para los servicios de telefonía convencional.

El empleo de cancelación de eco, permite la utilización completa del ancho de banda disponible, pero tiene el inconveniente de requerir mayor procesamiento de la información por parte de los equipos terminales.

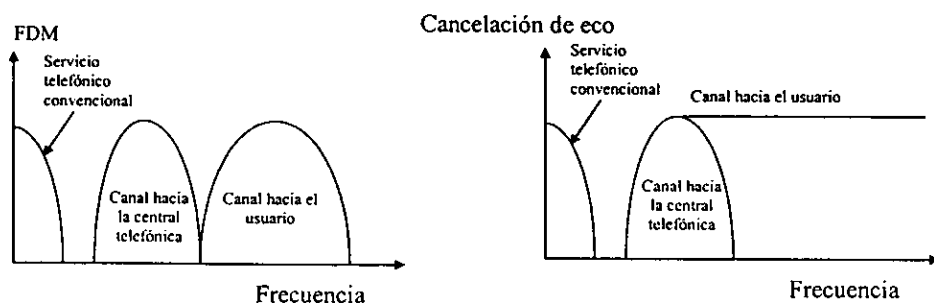


Figura 6-1 Anchos de banda utilizados empleando FDM y cancelación de eco.

Para los dispositivos basados en DMT, surge de manera muy natural la utilización de una parte del espectro para el upstream y el ancho de banda restante para el downstream.

DMT divide el ancho de banda en subcanales para transmitir la información, por lo que se hace necesario el monitoreo de cada subcanal, resultando el Multiplexaje por División de Frecuencia como una técnica natural para ser empleada los equipos basados en DMT.

Para QAM la cancelación de eco resulta necesaria debido a que por naturaleza emplea el mismo espectro para transmisiones hacia la central telefónica y hacia el usuario. Aunque, por otra parte, actualmente ya existen equipos basados en QAM que son capaces de separar el canal de downstream del canal de upstream haciendo uso de mayor cantidad de procesamiento por parte de los equipos de transmisión y recepción.

## **6.6 Características del hardware empleado**

En la actualidad, debido a los grandes avances en la fabricación de circuitos integrados, es posible encontrar una gran variedad de dispositivos electrónicos que solos o en conjunto permiten la fácil implementación de módems para las técnicas xDSL. Muchos fabricantes de semiconductores ofrecen sus productos a precios relativamente bajos y con una gran capacidad de procesamiento.

La implementación de módems xDSL ha tomado 2 vertientes principalmente: la primera es la de basar el procesamiento de la información en procesadores digitales de señales (DSP's) con una gran capacidad de procesamiento de instrucciones por segundo. Mientras que de la segunda forma, algunos fabricantes pretenden introducir cierto número de circuitos especializados en algún proceso específico y así reducir la carga de trabajo aplicada del lado de los DSP's.

Los actuales DSP's, son capaces de ejecutar instrucciones en el rango de varios cientos de millones de instrucciones por segundo (MIPs) y de ahí su gran poder e influencia en su utilización para los equipos basados en xDSL, además tienen la ventaja de poder ser reprogramados para futuros cambios o mejoras.

Las compañías de semiconductores han presentado transceptores, que están siendo empleados en el mercado para su prueba y mejoramiento. Se combinan la tecnología de los procesadores digitales de señales y de los circuitos integrados diseñados para tareas específicas. La inversión continua de estas compañías de semiconductores ha incrementado la funcionalidad y reducido el tamaño de los dispositivos semiconductores, así como los requerimientos de energía y su costo. De esta forma se observa un desarrollo importante para el mercado de los servicios basados en xDSL.

### **6.7 Los divisores (splitters)**

Es tema de discusión el empleo de los divisores (splitters), cuya tarea es la de separar las señales del servicio telefónico convencional y las señales de alta velocidad. Este debate surge debido a los inconvenientes que se presentan al momento de ser instalado en el sitio del usuario. El principal inconveniente que esto representa es el costo, ya que este proceso requiere de personal especializado para la instalación de los splitters y como consecuencia, es necesario realizar una inversión adicional por parte del prestador del servicio telefónico y de esta manera aumentará el costo final que pagará el usuario.

Debido a lo anterior, se han presentado alternativas tales como la técnica CDSL, la cual no requiere de splitters, ya que el proceso de separación de las señales se lleva a cabo en un sitio remoto y corre por cuenta de la central telefónica. Otra técnica que no emplea splitters es HDSL. Debe notarse, sin embargo, que la eliminación de splitters del lado del usuario implica la eliminación del servicio telefónico convencional tal y como sucede con HDSL, y sólo podría tenerse acceso a estos servicios de manera digital.

Otra alternativa al empleo de splitters, es el uso de filtros pasivos paso-bajas en cada aparato que hiciera uso del servicio telefónico convencional. La implicación del uso de este tipo de arreglos es que el desempeño de la línea se vería disminuido al hacer uso de filtros pasivos, ya que actúan como elementos parásitos dentro del comportamiento normal de la línea telefónica, y más si se considera que la línea se emplearía para transmisión a altas velocidades.

## 6.8 Resumen comparativo de las técnicas xDSL

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las distintas tecnologías xDSL comparadas entre sí:

| Nombre                                 | Tasas de datos                    | Modo                   | Comentario  |
|--|-----------------------------------|------------------------|---|
| <b>HDSL/HDSL2</b> (High data Rate DSL) | 1.544 Mbps<br>2.048 Mbps          | Simétrico<br>Simétrico | Usa dos pares de cables. HDSL2 usa un solo par. Para velocidades de 2.048 Mbps se emplean tres líneas de par trenzado |
| <b>SDSL</b> (Single line DSL)          | 1.544 Mbps<br>2.048 Mbps          | Simétrico              | Usa un solo par.  |
| <b>ADSL</b> (Asymmetric DSL)           | 1.5 a 8.448 Mbps<br>16 a 640 kbps | Downstream<br>Upstream | Usa un solo par; 18 kft máximo.   |
| <b>RADSL</b> (Rate Adaptive DSL)       | 1.5 a 8.448 Mbps<br>16 a 640 kbps | Downstream<br>Upstream | Usa un solo par; pero puede adaptar las tasas de datos a las condiciones de la línea.                                 |
| <b>CDSL</b> (Consumer DSL)             | Arriba de 1 Mbps<br>16 a 128 kbps | Downstream<br>Upstream | Usa un solo par; pero no Necesita equipo remoto en casa.  |
| <b>ISDL</b> (ISDN DSL)                 | Como un ISDN BRI                  | Simétrico              | Usa un solo par; algunas veces llamado "BRI sin switch".  |
| <b>VDSL</b> (Very high data rate DSL)  | 13 a 52 Mbps<br>1.5 a 2.3 Mbps    | Downstream<br>Upstream | Alta tasa de datos; de 1 a 4.5 kft máximo. Necesita ATM y alimentación por fibra óptica.                              |

Tabla 6-2. Resumen Comparativo de las técnicas xDSL

## 6.9 Operación de ADSL sobre la red telefónica

Es interesante analizar el planteamiento que se hace acerca de ADSL y su implementación sobre la red telefónica actualmente en funcionamiento.

### 6.9.1 Diagrama general para una red de ADSL

El diagrama completo de la red mostrado en la figura 6-2 [1][2][3], describe los elementos en las comunicaciones de multimedia, sugiere un grupo de configuraciones para el transporte de ADSL y muestra como realizar la migración de Modo de Transferencia Síncrona (STM – Synchronous Transfer Mode) hacia el Modo de Transferencia Asíncrona (ATM – Asynchronous Transfer Mode).

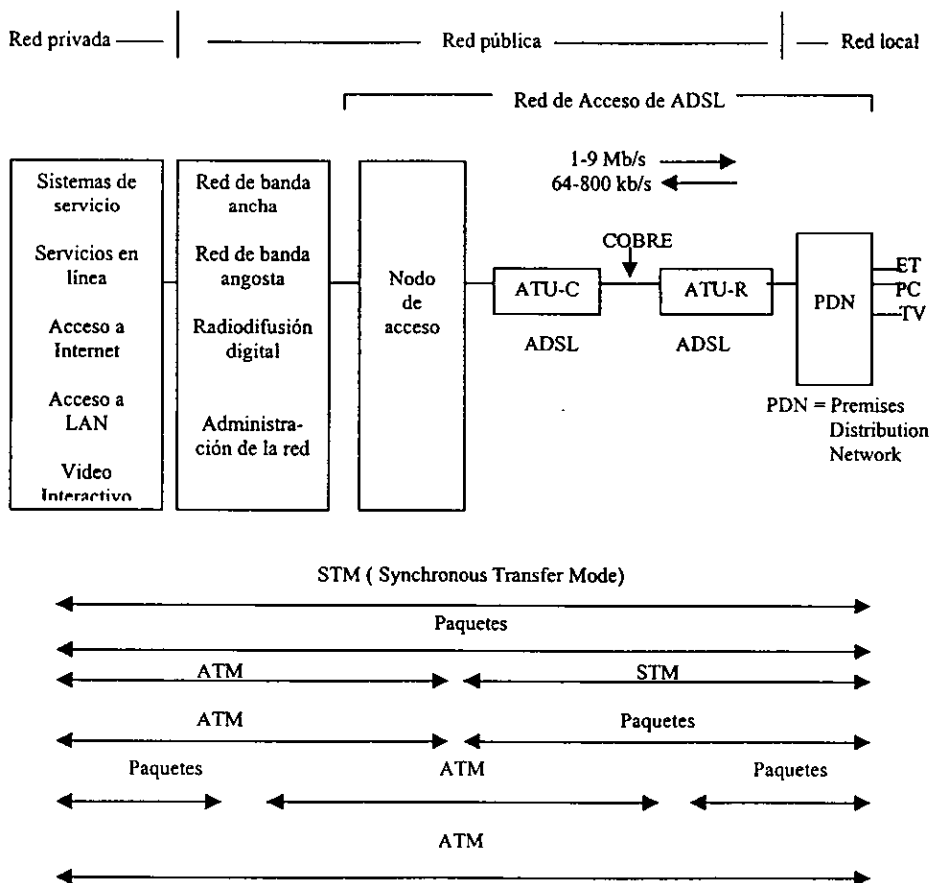


Figura 6-2. Diagrama general para una red de ADSL



En esencia, ADSL usa líneas telefónicas existentes para conectar terminales de usuario, computadoras personales y televisiones; para varios servicios sobre combinaciones tándem de redes públicas y privadas de muy altas velocidades que hoy en día no pueden ser realizadas con módems convencionales. La red pública comprende un nodo de acceso, para concentración y quizá un protocolo de conversión, una central de conmutación y ruteadores. Los nodos de acceso pueden estar localizados en una central telefónica.

### **6.9.2 Red de banda ancha basada en ADSL**

La tecnología ADSL es más que sólo una forma rápida para bajar páginas de la Web en la computadora de la casa. ADSL es parte de toda una arquitectura de la red que tiene el potencial de proporcionar a los usuarios en las casas y pequeños negocios todos los nuevos servicios de banda ancha. En este caso los servicios de banda ancha significan servicios que necesitan accesos a la red más rápidos que los 1 ó 2 Mbps entregados.

La figura 6-3 muestra que una red de banda ancha basada en ADSL podría verse así. En una versión simple de esta arquitectura, los usuarios podrían esencialmente necesitar sólo un nuevo módem ADSL. Este equipo podría tener conectores RJ-11 ordinarios que podrían soportar la existencia de teléfonos analógicos en el SOHO (Small Office/Home Office). Otros puertos, quizá 10BASE-T Ethernet, podría enlazar a las PC's o receptores de TV con una gran variedad de servicios, tales como acceso a alta velocidad a Internet o video por demanda. Aquí la función del divisor es separar los servicios del servicio telefónico convencional (POTS - Plain Old Telephone Service) de los servicios digitales.

En la central telefónica local, los servicios analógicos de voz pasan al conmutador de voz de la central telefónica con otro arreglo de divisores. La línea local de ADSL termina en un nodo de acceso ADSL en vez de entrar al conmutador de la central telefónica. El nodo de acceso (el cual es un tipo de multiplexor de acceso, DSLAM (DSL Access Multiplex)) multiplexa muchas líneas de ADSL. En el extremo final del nodo de acceso, se mantienen enlaces con ruteadores TCP/IP o conmutadores ATM.

Estos conmutadores y ruteadores son habilitados para que los usuarios puedan acceder a los servicios de su elección. En muchos casos, los servidores pueden estar localizados cruzando la calle y empleando un cable corto que corre desde la central telefónica.

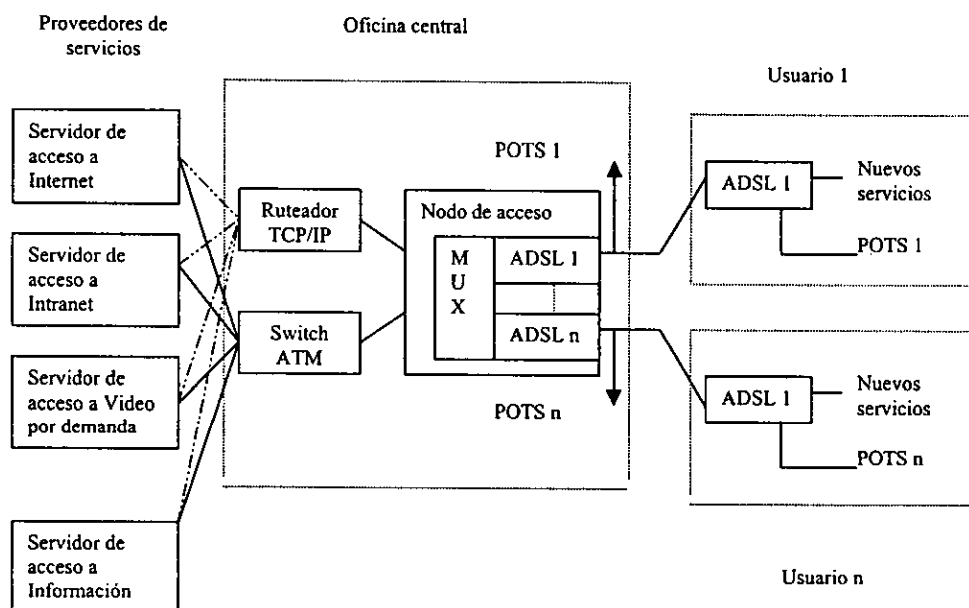


Figura 6-3. Red de banda ancha basada en ADSL

Típicamente, los servicios incluyen acceso a Internet, Intranet (trabajo en casa), video por demanda, y en algunos casos diversos servicios de información (financieros y algunos otros). Cabe hacer notar que el acceso a estos servicios puede ser a través de TCP/IP o ATM; ADSL permite ambos.

### 6.9.3 Modelo de referencia del sistema

La figura 6-4 muestra el modelo de referencia del sistema, y se centra en un elemento que realmente existe en gran volumen hoy en día: las líneas telefónicas [4]. Como se muestra en la figura, lo primero que la línea telefónica encuentra en cada extremo es un conjunto de filtros que dividen la línea por frecuencias, un filtro paso-bajas para el servicio

telefónico convencional (POTS / Plain Old Telephone Service) y un filtro paso-altas que deja pasar las señales ADSL arriba de los 25 kHz. El servicio telefónico convencional hace su recorrido del teléfono del usuario a la central telefónica y de la red conmutada (PSTN / Public Switched Telephone Network) al usuario final. Los datos hacia el nodo de acceso primeramente pasan por un trancceptor (ATU-C). Los divisores también combinan o separan las señales dependiendo de la dirección de transmisión.

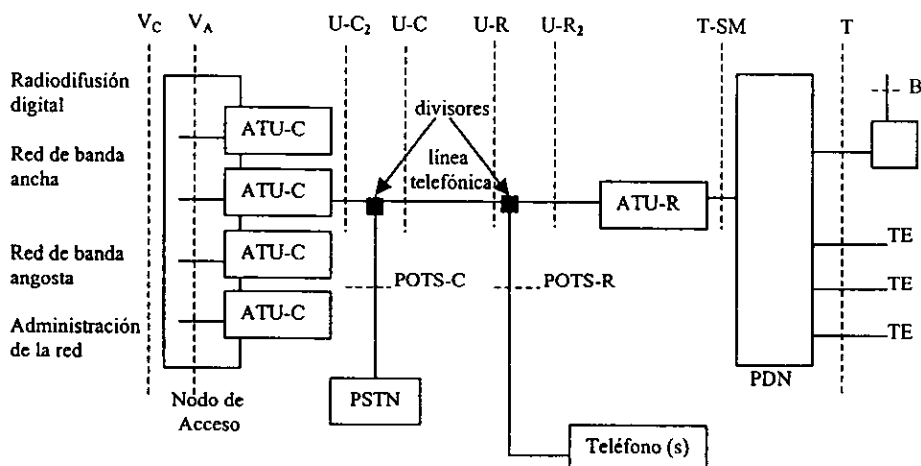


Figura 6-4. Modelo de referencia del sistema.

- *ATU-C (ADSL Transceiver Unit- Central Office)*. Equipo que conecta la línea de par trenzado con la central telefónica.
- *ATU-R (ADSL Transceiver Unit- Remote)*. Equipo que conecta la línea de par trenzado con el usuario.
- *Nodo de Acceso*. Punto de concentración para datos de banda ancha y banda angosta.
- *B*. Salida auxiliar de datos.
- *Radiodifusión*. Salida de datos de banda ancha en modo simplex.
- *Red de banda ancha*. Sistema de conmutación para velocidades de transmisión a 1.5 ó 2.0 Mbps o menores.
- *POTS (Plain Old Telephone Service)*. Servicio telefónico convencional.
- *POTS-C*. Interfase entre la red telefónica conmutada y el divisor en el extremo de la central telefónica.
- *POTS-R*. Interfase entre el aparato telefónico y el divisor en el extremo del usuario.

- *PDN (Premises Distribution Network)*. Es un sistema para conectar el ATU-R al módulo de servicio. Puede ser punto o multipunto.
- *PSTN (Public Switched Telephone Network)*. Red telefónica pública conmutada.
- *SM (Service Module)*. Módulo de Servicio. Esta terminal realiza diversas funciones como interfaces para PC's o ruteadores LAN.
- *Divisores (splitters)*. Filtros, los cuales separan señales de alta frecuencia (ADSL) y baja frecuencia (POTS).
- *T-SM*. Interfase entre el ATU-R y el PDN.
- *T*. Interfase entre el PDN y el módulo de servicio.
- *U-C*. Interfase entre la línea de par trenzado y el divisor del lado de la central telefónica.
- *U-C2*. Interfase entre el divisor de la central telefónica y el ATU-C.
- *VA*. Interfase lógica entre el ATU-C y el nodo de acceso.
- *VC*. Interfase entre el nodo de acceso y la red.

#### 6.9.4 Dependencia de las funciones de ADSL con el medio físico

Sin tomar en cuenta las técnicas de modulación, todos los transceptores de ADSL realizan las funciones mostradas en la figura 6-5 [5]. Un modulador crea una representación digital de una señal de datos, posteriormente un convertidor digital/analógico transforma esta representación digital a analógica, la filtra, y la amplifica a un nivel consistente con los requerimientos de potencia de la línea. La sección del receptor esencialmente invierte este proceso, pero debe ecualizar la línea y normalizar la señal.

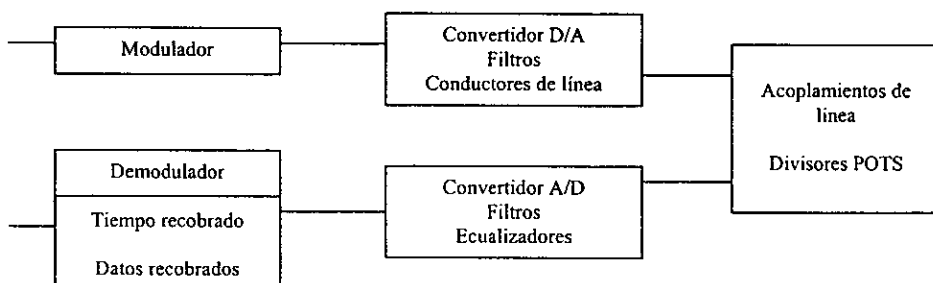


Figura 6-5. Transceptor básico para la capa PDM (Physical Media Dependent)

Hoy en día ADSL presenta tres candidatos para su técnica de modulación. El primero, DMT, en segundo lugar QAM y finalmente CAP que como se mencionó anteriormente es una variante de QAM con algunos beneficios de flexibilidad e implementación sobre su precursora. Teniendo en cuenta las características de adaptación al medio de transmisión por parte de ADSL, como se mencionó anteriormente se ha dado paso a un nuevo acrónimo: RADSL (Rate Adaptive DSL / DSL de tasa adaptativa). Los módems RADSL quizá dominarán el mercado en un futuro no muy lejano.

#### **6.9.5 Situación actual de ADSL**

ADSL se encuentra aún en etapa de pruebas con las compañías telefónicas de todo el mundo. Muchas compañías telefónicas han expresado la intención de ofrecer servicios de ADSL para acceso a Internet y otras aplicaciones con acceso por paquetes. En algunos países, como Australia, ADSL está siendo empleado para video interactivo y para video-difusión. Dos servicios públicos se encuentran en operación, uno en Chicago (USA), y otro en Saskatchewan (En Canadá)[6].

#### **6.10 Pruebas para equipos xDSL**

Las pruebas que se mencionan a continuación fueron realizadas por la revista Data Communications y fueron publicadas el mes de junio de 1998. Se evaluaron 4 equipos diferentes, los cuales pertenecen a Ascend Communications Inc., Paradyne Corp. y Telmax Communications Corp [7].

Se evaluó cada tecnología en términos de su construcción. Se usaron ambas transportaciones (upstream y downstream), aplicaciones y generadores de niveles de tráfico, se probó el equipo en el mejor de los casos (sin ruido, y una distancia mínima) y en las condiciones más difíciles (con varias distancias y diferentes tipos de ruido).

Se evaluó la máxima distancia sobre la cual los equipos pudieran transmitir una señal. Usando un equipo (Consultronics DLS-90), se simularon longitudes en la línea mayores a 7.3 km. En las siguientes tablas también se podrá ver que se probaron los equipos de dos formas: transmisiones en volumen (raw) y empleando programas de aplicación; en la

primera se simuló un nivel de tráfico en la línea con un equipo llamado BLAST[8], y en las pruebas con aplicaciones se enviaron paquetes de información.

Es importante hacer notar que en la primera prueba sólo se verificó que el equipo siguiera transmitiendo a una distancia determinada, sin importar el contenido de la información transmitida.

En la tabla 6-3 se muestran las condiciones bajo las cuales se llevó a cabo la prueba. En la tabla 6-4 y su gráfica se normalizaron los resultados presentándolos en porcentajes del máximo teórico de cada uno de los equipos, esto está lejos de ser una comparación de sus habilidades y de su potencial. En la tabla 6-5 se muestran las tasas de los datos en términos absolutos que cada uno de los equipos presentó en las seis diferentes pruebas, al igual que la tabla anterior, las pruebas son para medir la eficiencia de cada equipo y no para hacer una comparación entre ellos.

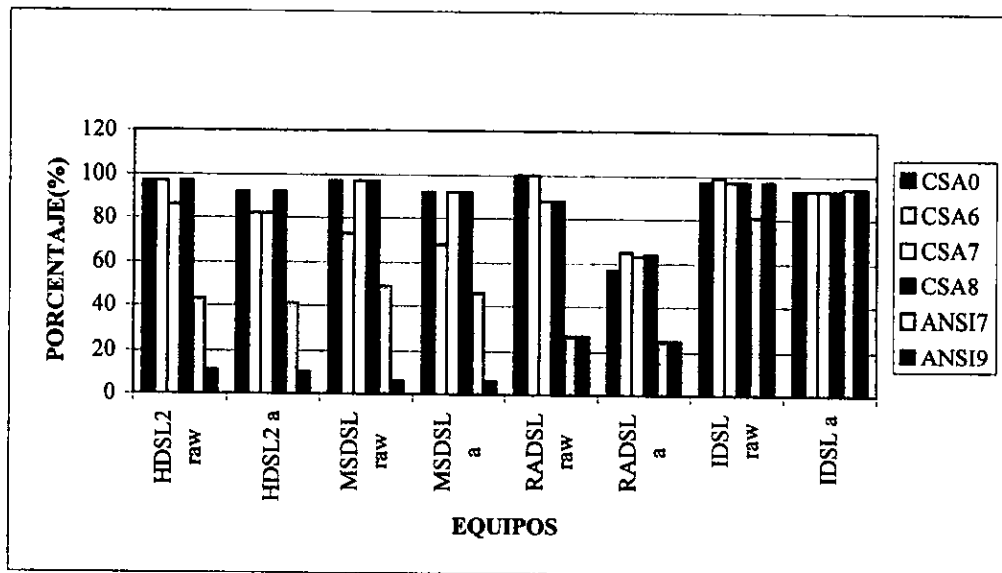
|   | CSA 0 | CSA 6  | CSA 7              | CSA 8                | ANSI 7  | ANSI 9  |
|---|-------|--------|--------------------|----------------------|---------|---------|
| Distancia (ft)  | 0     | 9, 000 | 10, 700            | 12, 000              | 13, 500 | 15, 000 |
| Calibre (AWG)   | 0     | 26     | 24                 | 24                   | 26      | 26      |
| Ruido (dBm/Hz)  | 0     | -140   | -140               | -140                 | -140    | -140    |
| *Next (dBm)   | 0     | -50.2  | DSL NEXT<br>-56.1  | DSL NEXT<br>-53.8    | -53.8   | -53.8   |
|   |       |        | ADSL NEXT<br>-49.9 | ADSL Y HDSL<br>-45.6 |         |         |
|   |       |        | ADSL FEXT<br>-69.6 | ADSL FEXT<br>-69.6   |         |         |
|   |       |        |                    |                      |         |         |
|   |       |        |                    |                      |         |         |
| *NEXT: near-end-crosstalk.<br>FEXT: Far-end-crosstalk ADSL. |       |        |                    |                      |         |         |

Tabla 6-3

| HDSL2 raw<br>(volumen) (%) | HDSL2 a<br>(%) | MSDSL raw<br>(volumen) (%) | MSDSL a<br>(%) | RADSL raw<br>(volumen) (%) | RADSL a<br>(%) | IDSL raw<br>(volumen) (%) | IDSL a<br>(%) |
|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|---------------------------|---------------|
| 97                         | 92             | 97                         | 92             | 100                        | 57             | 97                        | 93            |
| 97                         | 82             | 73                         | 68             | 100                        | 65             | 99                        | 93            |
| 86                         | 82             | 97                         | 92             | 88                         | 63             | 97                        | 93            |
| 97                         | 92             | 97                         | 92             | 88                         | 64             | 97                        | 93            |
| 43                         | 41             | 49                         | 46             | 27                         | 25             | 81                        | 94            |
| 11                         | 10             | 6                          | 6              | 27                         | 25             | 97                        | 94            |

a: aplicaciones

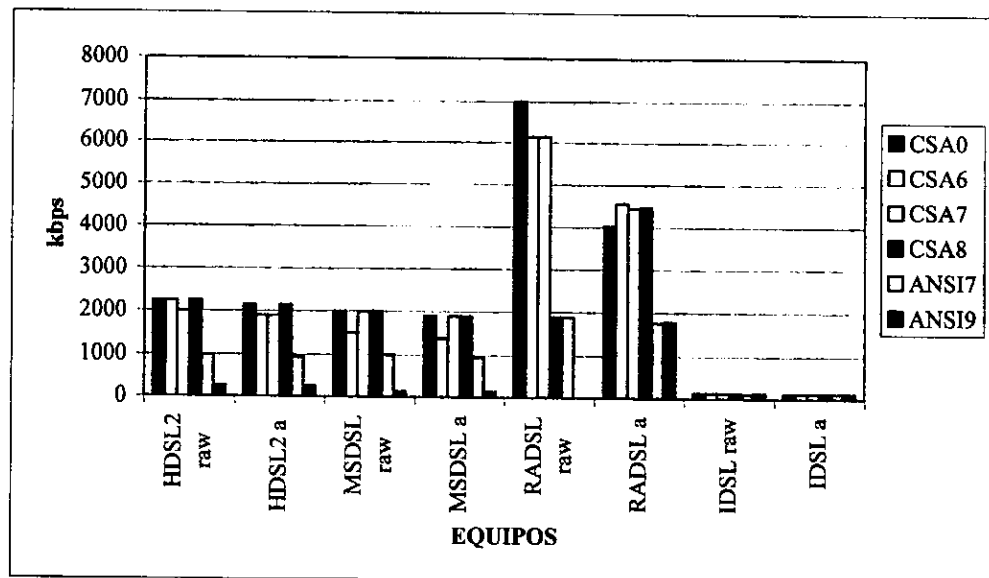
TABLA 6-4



Gráfica 6-1. Comparación relativa de los equipos DSL.

| HDSL2 raw<br>(volumen) | HDSL2 a<br>(kbps) | MSDSL raw<br>(volumen) | MSDSL a<br>(kbps) | RADSL raw<br>(volumen) | RADSL a<br>(kbps) | IDSL raw<br>(volumen) | IDSL a<br>(kbps) |
|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|------------------|
| (kbps)                 |                   | (kbps)                 |                   | (kbps)                 |                   | (kbps)                |                  |
| 2236                   | 2130              | 1990                   | 1883              | 7000                   | 4016              | 125                   | 119              |
| 2238                   | 1890              | 1504                   | 1383              | 6125                   | 4555              | 127                   | 120              |
| 1988                   | 1891              | 1984                   | 1883              | 6125                   | 4438              | 125                   | 119              |
| 2238                   | 2130              | 1993                   | 1883              | 1878                   | 4461              | 125                   | 119              |
| 993                    | 945               | 1004                   | 951               | 1880                   | 1750              | 104                   | 120              |
| 249                    | 235               | 125                    | 119               | 0                      | 1770              | 125                   | 120              |
| a: aplicaciones        |                   |                        |                   |                        |                   |                       |                  |

**TABLA 6-5**



**Gráfica 6-2. Comparación absoluta de los equipos DSL.**



Con respecto a los diferentes tipos de escenarios propuestos para las pruebas a los equipos, se mencionará que la configuración CSA0 (Carrier Serving Area type 0 / Área de Servicio de Transporte tipo 0) se refiere a un caso ideal en donde la longitud de la línea es cercana a cero y no está afectada por ningún tipo de ruido. Los otros tipos de configuraciones representan características definidas por el ANSI (American National Standards Institute) y por la TIA (Telecommunications Industries Association) y sus características se muestran en la tabla 6-3.

Con respecto a los resultados mostrados en la gráfica 6-1, se mencionará que los porcentajes calculados, se evaluaron con respecto al valor máximo ofrecido por el fabricante de cada equipo en forma independiente. Lo anterior explica por que ciertos equipos a pesar de ofrecer una baja tasa de transmisión, obtuvieron porcentajes muy altos. La gráfica 6-1 no debe usarse para comparar los equipos entre sí, sino para comparar los resultados prácticos de cada equipo con respecto a su valor teórico ofrecido.

La gráfica 6-2 muestra los resultados obtenidos en forma absoluta, es decir, se muestran las velocidades efectivas alcanzadas por cada equipo, pudiendo comparar el desempeño de cada equipo entre sí con el uso de esta gráfica. Es de notar que dentro de los equipos evaluados, el que presentó mejores características en su desempeño fue el equipo basado en RADSL, el cual alcanzó velocidades de hasta 7 Mbps para la configuración del tipo CSA0.

Al observar los resultados de las gráficas 6-1 y 6-2, se puede mencionar que los equipos evaluados cumplen con las características propias de cada tecnología a la que representan. Para IDSL por ejemplo, se nota una mayor estabilidad con respecto a los diferentes cambios de escenarios en los que se evaluó el equipo. Sin embargo, las velocidades de transmisión alcanzadas por IDSL siempre serán modestas en comparación del resto de los equipos probados.

Para los equipos basados en HDSL2, RADSL y MDSL; se puede ver que las velocidades de transmisión varían conforme a las características de la línea. Esto es, a mayor distancia y ruido, menor velocidad de transmisión. Los resultados obtenidos son de esperarse, dadas las características de las tecnologías puestas a prueba. Finalmente se puede decir que los equipos evaluados funcionan de acuerdo con las características propias de cada tecnología y los resultados obtenidos se acercan a los valores teóricos esperados.

## Referencias

- [1] KIM Maxwell. "Interim technology for the next forty years", IEE Communications Magazine. Octubre 1996, pág.104.
- [2] ANSI, T1.413
- [3] GORALSKY, Walter, ADSL and DSL technologies, 1a. ed. McGraw-Hill, USA, 1998, pág 186.
- [4] ADSL.  
<http://www.cs.tamu.edu/people/jhamann/adsl/node4.html>
- [5] KIM Maxwell. "Interim technology for the next forty years", IEE Communications Magazine. Octubre 1996, pág 106.
- [6] Frequently Asked Questions  
<http://www.adsl.com/faq.html>
- [7] DAVID Newman. "DSL: Worth its wait", Data Communications. Junio 1998, pág 110.
- [8] Ídem.

## CONCLUSIONES

---

- Es posible transmitir una gran variedad de señales mediante el empleo del par trenzado; esto es, gracias a los nuevos esquemas de modulación tales como: CAP, QAM y DMT.
- La red telefónica es el sistema más ampliamente utilizado en el mundo. Debido a lo anterior, resulta conveniente su reaprovechamiento, mediante el empleo de las nuevas técnicas de transmisión por par trenzado como son: ADSL, HDSL, VDSL, CDSL e IDSL.
- Las tecnologías xDSL aprovechan la infraestructura de la red telefónica basada en par trenzado, lo que permite una reducción notable en los costos de implementación de las nuevas tecnologías xDSL. La reducción de los costos también se debe a que el personal encargado del mantenimiento de la red de par trenzado, ya se encuentra capacitado y su labor sería similar a la que se ha estado realizando hasta la fecha.
- Debido al acelerado desarrollo en las técnicas de fabricación de dispositivos electrónicos, tales como los Procesadores Digitales de Señales; se han podido desarrollar equipos basados en las nuevas tecnologías xDSL permitiendo la posibilidad de su uso en un corto plazo.
- Las tecnologías xDSL pueden alcanzar altas tasas de transmisión; de esta forma se mejoran los servicios conocidos en la actualidad como lo es el uso de Internet, y se abre la posibilidad de implementar nuevos servicios, tales como el video por demanda y la videoconferencia.

- Dentro de las tecnologías xDSL; ADSL es en la actualidad la más aceptada por las características que presenta. Dentro de las ventajas con las que cuenta ADSL con respecto a otras tecnologías xDSL, se puede mencionar la existencia de estándares reconocidos y que se actualizan frecuentemente. Además, hay un número creciente de compañías desarrollando productos basados en ADSL y, finalmente, ADSL presenta un mejor desempeño bajo condiciones reales en la red telefónica con respecto al resto de las tecnologías xDSL.
- Gracias al empleo de nuevas tecnologías de transmisión por par trenzado, se pueden reducir los tiempos de espera en servicios como lo son el uso de Internet y el acceso remoto.
- ADSL es una tecnología de tránsito hasta que las redes de par trenzado sean substituidas por fibra óptica.

## BIBLIOGRAFÍA

---

### Libros

ANSI T1.413, Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) Metallic Interface, USA, 1995.

BONI Benitez Alfredo, Redes telefónicas inteligentes, Facultad de Ingeniería UNAM, 1998.

BELLAMY, John, Digital Telephony, 2a. ed., John Wiley & Sons, USA, 1990.

CCITT, Planificación general de la red GAS3, Ginebra 1983.

CARBALLAR, Falcon Jose Antonio, Los servicios de telecomunicaciones redes, aplicaciones y costos, 1a ed., RA-MA.

CHEN, Walter Y., DSL Simulation Techniques and Standards Development for Digital Subscriber Line Systems, 1a. ed., Macmillan Technical Publishing, USA, 1998.

COUCH II, Leon W., Modern communication systems, 1a. ed. Prentice Hall, USA, 1995.

DUNLOY, John D., SMITH, Geoffrey, Ingeniería de las telecomunicaciones, 1a. ed., Gustavo Gili, España, 1988.

FREEMAN, Roger L., Telecommunications systems engineering, 3a. ed. John Wiley & Sons, New York, USA, 1996.

FREEMAN, Roger L., Telecommunications Transmission Handbook, 3a. ed. John Wiley & Sons, New York, USA, 1996.

FINK, Donald G., BEATY, H. Wayne, CARROLL, John M., Manual práctico para ingeniero Tomo III, 11a. ed., Reverté, España, 1984.

GORALSKY, Walter, ADSL and DSL technologies, 1a. ed., McGraw-Hill, USA, 1998.

GROB, Bernard, Televisión Práctica y Sistemas de Video, 1a. ed., Alfaomega Marcombo, México 1992.

HERRERA, Enrique, Introducción a las Telecomunicaciones Modernas, 1a. ed., Limusa Noriega, México 1998.

HUIDOBRO, José Manuel, Comunicaciones de voz y datos, 2a. ed., Parainfo, España, 1996.

MONTESINOS, Jesús. Comunicaciones analógicas y digitales, 1a. ed., Parainfo, España, 1990.

PIERCE, John R.; NOLL, A Michael; Señales la ciencia de las telecomunicaciones, 1a. ed., Reverté, España, 1995.

RAUSCHMAYER, Dennis J. ADSL/VDSL principles, 1a. ed., Macmillan Technical Publishing, USA, 1999.

ROBIN, Michael, Digital Television Fundamentals, 1a. ed., McGraw Hill, USA 1998.

RODEN, Martin S., Analog and digital communication systems, 4a. ed., Prentice Hall, USA, 1996.

STREMLER, Ferrel G. Introduction to communication systems, 3a. ed., Addison Wesley, USA, 1990.

TOMASI, Wayne., Sistemas de comunicaciones electrónicas, 2a. ed., Prentice Hall, México, 1996.

YOUNG, Paul N., Electronic communications techniques, 3a. ed., Prentice Hall, USA, 1994.

WHITHAM, D. Reeve., Subscriber loop signaling and transmission handbook Digital, 1a. ed., IEEE Press, USA, 1995.

## **Revistas**

ALDACO, Yolanda, "RDSI: Mayor Ancho de banda con la misma infraestructura", Revista RED, Octubre 1996, 40-41

BRINGHAM John A. C., "Multicarrier Modulation for Data Transmission: An Idea Whose Time Has Come", IEEE Communications Magazine, Mayo 1995.

CHEN Walter Y, "Aplicability of ADSL to Support Video Dial Tone in the Copper Loop", IEEE Communications Magazine, Mayo 1994, 102-109.

DAVID Newman. "DSL: Worth its wait", Data Communications, Junio 1998, 101-112.

Douglas Jack. "How to find phone-line faults and what to do about them". Data Communications. Septiembre 1988.

GARAY, Alfonso de, "La última milla en la supercarretera de la información", Revista RED. Octubre 1996, 4-10

GOLDBERG Lee, "ADSL Technologies: Moving Toward The "Lite" - And Beyond", Electronic design, Octubre 1998, 79-85

KIM Maxwell. "Asymmetric Digital Subscriber Line: Interim technology for the next forty years", IEE Communications Magazine. Octubre 1996, 100-106.

ROOSEVELT Nogueira. "Altas velocidades con ADSL", TelePress Latinoamérica. Junio 1998, 26-27.

STC, "El sistema de satélites Morelos", Folleto informativo.

TELMEX, "Todo TELMEX", Folleto informativo, Agosto 1997.

## Internet

### ADSL.

<http://www.cs.tamu.edu/people/jhamann/adsl/node4.html>

### ADSL

[http://www.cs.tut.fi/tlt/stuff/adsl/pt\\_adsl.html](http://www.cs.tut.fi/tlt/stuff/adsl/pt_adsl.html)

### Anuncios de prensa

<http://www.3com/lat/spanish/releases/98/022398a>

### Frequently Asked Questions.

<http://www.adsl.com/faq.html>

History of the Internet and the WWW

<http://ourworld.compuserve.com/homepages/dmayr/history.htm>

Los Inicios de la telefonía en México

<http://www.telmex.com.mx/inicio.htm>

System Architecture.

[http://www.cs.tut.fi/tit/stuff/adsl/pt\\_adsl.html](http://www.cs.tut.fi/tit/stuff/adsl/pt_adsl.html)

Technology Fare.

<http://www.teledotcom.com/1096/features/tdc1096coverstory1.html>

Televisión por cable

<http://venus.jeveriana.edu.co/~ieee/tv/tvcable/tvcable1.htm>

The cable advantage

<http://www.CABLEVISION.com.mx/cvhome/cvinet/ine>



## ACRÓNIMOS

---

1. **ADSL:** Asymmetric Digital Subscriber Line.
2. **ANSI:** American National Standards Institute.
3. **ASCII:** American Standard Code for Information Interchange.
4. **ASK:** Amplitude Shift Keying.
5. **ATM:** Asynchronous Transfer Mode.
6. **ATU-C:** ADSL Termination Unit-Central Office.
7. **ATU-R:** ADSL Termination Unit-Remote.
8. **AWG:** American Wire Gauge.
9. **BRI:** Basic Rate Interface.
10. **CAP:** Carrierless Phase/Amplitude modulation.
11. **CCITT:** International Telegraph and Telephone Consultative Committee.
12. **CDSL:** Consumer Digital Subscriber Line.
13. **DMT:** Discrete Multitone Technology.
14. **FDM:** Frequency Division Multiplexing.
15. **FSK:** Frequency Shift Keying.
16. **FTTH:** Fiber To The Home.
17. **HDSL:** High-bit rate Digital Subscriber Line.
18. **HFC:** Hybrid Fiber-Coax.
19. **IDSL:** ISDN Digital Subscriber Line.
20. **ISDN:** Integrated Services Digital Network.
21. **LAN:** Local Area Network.
22. **PAM:** Pulse Amplitude Modulation.
23. **PBX:** Private Branche Exchange.
24. **PCM:** Pulse Code Modulation.
25. **POTS:** Plain Old Telephone Service.
26. **PRI:** Primary Rate Interface.
27. **PSK:** Phase Shift Keying.
28. **PSTN:** Public Switched Telephone Network.
29. **QAM:** Quadrature Amplitude Modulation.
30. **RADSL:** Rate Adaptative Digital Subscriber Line.
31. **SDSL:** Symmetric (or Single-pair) Digital Subscriber Line.
32. **SOHO:** Small Office/Home Office.
33. **TCP/IP:** Transmission Control Protocole/Internet Protocol.

- 34. **TDM:** Time Division Multiplexing.
- 35. **VDSL:** Very high-speed Digital Subscriber Line.
- 36. **VOD:** Video On Demand.
- 37. **WAN:** Wide Area Network.
- 38. **WWW:** World Wide Web.
- 39. **xDSL:** x-Type Digital Subscriber Line.