

# MÓDEMS ANALÓGICOS

## 4.1 HISTORIA DE LOS MÓDEMS ANALÓGICOS

Los módems son dispositivos que convierten datos digitales seriales provenientes de un terminal transmisor a una señal adecuada para su transmisión sobre un canal telefónico y luego reconvierte esta señal en el otro extremo a datos digitales seriales que se entregan al terminal receptor. Su nombre proviene de las palabras Modulador-Demodulador. El mercado de los módems cambió drásticamente desde su concepción en 1960 con la introducción en 1973 del módem de 1,2 kbps que operaba a full duplex sobre la red telefónica conmutada. Luego al inicio de la década del 80 aparece el módem V.22 bis que operaba de igual manera pero a 2.4 Kbps. Además, por esos años un módem bastante difundido, en especial en el sector financiero, fue el módem V.29. En los años 90 aparece el módem V.32 que trabaja a 9,6 Kbps sobre la red telefónica conmutada y el módem V.33 de 14,4 Kbps sobre líneas dedicadas. En 1994, se norma el módem V.34 con 28,8 Kbps. Estos equipos usan una codificación con capacidad de corrección de errores y compresión de datos para lograr velocidades de los límites teóricos.

### 4.1.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

En la tabla 4.1 se enumeran las características más importantes de los módems.

### 4.1.2 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN

Los módems tienen 2 tipos de velocidad: Velocidad de transmisión (Vtx) y Velocidad de Modulación (Vm).

#### a) Velocidad de Transmisión (Vtx)

Es el número máximo de elementos binarios que se puede transmitir durante un segundo. La unidad es el bit/segundo o simplemente bps.

#### b) Velocidad de Modulación (Vm)

Es el número máximo de veces por segundo que puede cambiar el estado de la señal en la línea. La unidad es el baudio o Bd.

#### c) Relación entre Velocidad de Transmisión y de Modulación

Estas dos velocidades se relacionan por la siguiente fórmula:

$$V_m = 1/T \quad \text{y} \quad V_{tx} = V_m \log_2 M$$

donde: T = Intervalo significativo mínimo (segundos) y M = Número de cambios significativos en la línea. En el Anexo A se desarrolla este tema más detalladamente.

### 4.1.2.2 TIPOS DE TRANSMISIÓN

Hay dos tipos de transmisión: Asíncrona y Síncrona.

#### a) Transmisión Asíncrona

Es un método de enviar datos en el cual el intervalo entre los caracteres puede ser de diferente

1. Velocidades de transmisión y modulación
2. Tipos de transmisión
3. Modos de funcionamiento
4. Interface utilizada
5. Modulación
6. Frecuencias portadoras
7. Ecuilizador
8. Aleatorizador

**Tabla 4.1** Características generalizadas de los módems de la serie V

longitud. Como se usan caracteres asíncronos, no se requiere enviar sincronización adicional o una información de temporización. También se le conoce como transmisión *start-stop*.

**b) Transmisión Síncrona**

Transmisión en la cual los caracteres y bits de datos son transmitidos a una velocidad fija con el transmisor y receptor sincronizados. Esto elimina la necesidad de bits individuales de *start* y de *stop* alrededor de cada octeto, proporcionando una mejor eficiencia.

**4.1.2.3 MODOS DE FUNCIONAMIENTO**

Hay dos modos de funcionamiento: Semiduplex y Duplex

**a) Semiduplex**

En este modo se puede establecer comunicación en ambas direcciones pero no simultáneamente. Primero un sentido y luego el otro. Se le conoce también como *half-duplex*.

**b) Duplex**

Se puede transmitir simultáneamente en las dos direcciones de manera independiente.

**4.1.2.4 INTERFACE**

Es la frontera definida por características de interconexión físicamente comunes, señales típicas y su significado. La norma V.24 brinda los circuitos para estos enlaces.

**4.1.2.5 TIPOS DE MODULACIÓN**

Los módems de banda vocal usan los siguiente tipos de modulación:

- Modulación de amplitud.
- Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK).
- Modulación de fase (PSK).
- Modulación combinada de amplitud y fase (QPSK).
- Modulación de amplitud en cuadratura (QAM).
- Modulación-Codificación Trellis o en rejilla (TCM).

**4.1.2.6 FRECUENCIA PORTADORA**

Es la que al ser modulada en FSK, PSK, etc. transporta la información binaria. Tiene valores de 1700 Hz, 1800 Hz, etc. según la norma del módem. El módem V.22 bis emplea 1200 y 2400 Hz para sus enlaces *full duplex* a dos hilos usando multiplexaje por división de frecuencia.

**4.1.2.7 ECUALIZADOR**

Es el dispositivo que tiende a reducir la distorsión de las frecuencias, la distorsión de fase o ambas, de un enlace por medio de la introducción de redes que compensan las diferencias en atenuación, retardo o ambos, en las frecuencias de la banda vocal de transmisión. El más usado es el ecualizador adaptativo.

**4.1.2.8 ALEATORIZADOR**

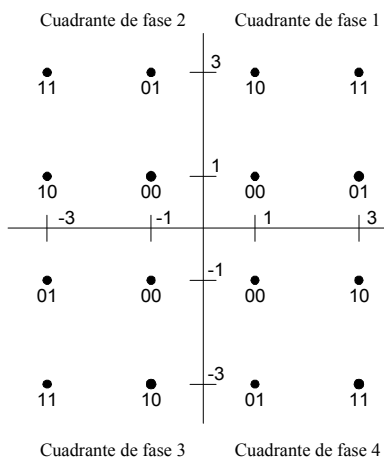
Este dispositivo aleatoriza los bits del mensaje en el transmisor para distribuir uniformemente la densidad de energía de la portadora del módem dentro del ancho de banda del canal telefónico.

**4.2 PRINCIPALES MÓDEMS DE LA SERIE V**

Aquí describimos los módems representativos de la serie V. Sus principios permanecen y se aplican a los módems de alta velocidad usados en los enlaces de microondas digitales y satelitales.

**4.2.1 MÓDEM V.22 BIS**

La figura 4.1 muestra su patrón de constelación y la tabla 4.3, la codificación respectiva del módem V.22 bis. Las computadoras personales usan estos módems para los sistemas de mediana



**Figura 4.1** Constelación de señales del módem V.22 bis

velocidad vía la red telefónica. La mayoría de estos productos incluyen la conmutación desatendida a una línea de reserva, discado y respuesta automática, ecualización adaptativa y un diagnóstico extensivo.

Es necesario tener en cuenta que algunos vendedores usan diferentes frecuencias para los módems originador/respondedor. Utilizan la división de frecuencia para separar los canales. Y cada canal es modulado en amplitud en cuadratura (QAM). Una señal de 600 baudios transporta 4 bits por baudio (*cuadribits*) con un esquema de código.

Las frecuencias portadoras son 1200 Hz y 2400 Hz para los canales inferior y superior. Soporta transmisiones síncronas y asíncronas. El módem respondedor recibe señales en el canal superior y transmite señales en el canal inferior. El módem originador opera a la inversa. Ambos módems siguen un proceso de sincronización antes de que se pueda intercambiar datos. Sus características se presentan en la Tabla 4.2.

**4.2.2 MÓDEM V. 29**

Este módem opera en los modos *half* y *full duplex* utilizando una modulación de amplitud y fase con una transmisión síncrona a 9,6 Kbps. También tiene velocidades reducidas de 7,2 y 4,8 Kbps.

La frecuencia portadora es de 1700 Hz. Como opción puede usar un multiplexor a la entrada para combinar canales de 7,2 ; 4,8 y 2,4 Kbps. Su velocidad de modulación es de 2400 baudios y provee tres tipos de codificación de bits para las tres velocidades disponibles. A 9,6 kbps los bits se dividen en grupos de cuatro bits (*cuadribits*). El primer bit representa la amplitud y los otros tres los ocho posibles desplazamientos de fase.

En la página siguiente, la tabla 4.6 muestra la asignación de cambios de fase a los bits Q2, Q3 y Q4 y la amplitud relativa al 1º bit (Q1). En la figura 4.2 se ve su constelación de señales, mientras que en la tabla 4.4 se detallan sus características.

**4.2.3 MÓDEM V. 34**

Este módem emplean una modulación de enrejado codificado (*Trellis Coded Modulation – TCM*) que le permite una corrección de errores hacia adelante (*Forward Error Correction - FEC*).

Vtx (bit/s):	2400
Vm (baudios):	600
Bits por baudio:	4:1
División de canales	Por frecuencia
Portadoras:	1200 & 2400
<i>Half / Full Duplex</i>	<i>Full Duplex</i>
Síncrono/asíncrono	Ambos
Modulación:	Amplitud en cuadratura
Línea conmutada /dedicada	Sí / punto a punto a 2 hilos
Ecualización:	Fija / Adaptativa
Normas adicionales:	V.28, 2110, V.25, Aleatorizador

**Tabla 4.2** Características Principales - Módem V. 22 bis

2 PRIMEROS BITS DEL CUADRIBIT (2400 BIT/S)	CAMBIO DE CUADRANTE DE FASE	
	00	1 → 2 2 → 3 3 → 4 4 → 1
01	1 → 1 2 → 2 3 → 3 4 → 4	0°
11	1 → 4 2 → 1 3 → 2 4 → 3	270°
10	1 → 3 2 → 4 3 → 1 4 → 2	180°

**Tabla 4.3.** Codificación de los dos primeros dibits de módem V.22 bis

Número de serie:	V.29
Vtx (bit/s):	9600
Vm (baudios):	2400
Bits por baudio:	4:1
División de canales:	4 hilos
Portadoras:	1700
<i>Half / Full Duplex</i>	Ambas
Síncrono/asíncrono	Síncrono
Modulación:	Combinada de amplitud y fase
Línea conmutada /dedicada	No / punto a punto, 4 hilos
Ecualización:	Adaptativa
Normas adicionales:	V.2, V.28, 2110, Aleatorizador

**Tabla 4.4** Características Principales - Módem V. 29

FASE ABSOLUTA	Q1	AMPLITUD RELATIVA DEL ELEMENTO DE SEÑAL
0°, 90°, 180°, 270°	0	3
	1	5
45°, 135°, 225°, 315°	0	√2
	1	3√2

**Tabla 4.5** Codificación del 1º bit módem V. 29

### 4.2.4 MÓDEMS CON CORRECCIÓN DE ERRORES HACIA ADELANTE (FEC)

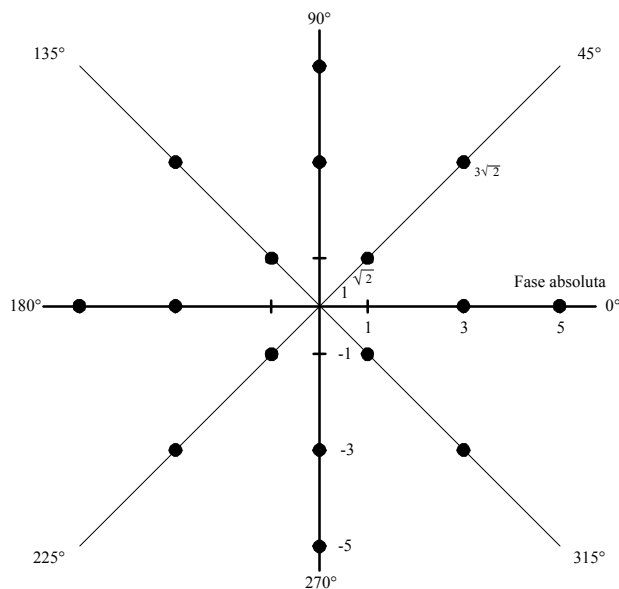
En el pasado, la corrección de errores hacia adelante de los datos distorsionados era considerada demasiado costosa excepto para aplicaciones esotéricas, tales como sondas espaciales. Con el advenimiento de los circuitos de escala de integración muy alta (VLSI), este tipo de corrección se ha convertido en un lugar común y se encuentra en las recientes recomendaciones del CCITT para los módems de banda vocal: V. 32, V. 32bis, V. 33 y V. 34.

La retransmisión de información es un compromiso entre el tiempo usado a la cantidad de errores y sirvió bien a la industria. Sin embargo, otras técnicas han aparecido, que no sólo detectan un error, sino que muchas veces corrigen el error sin pedir retransmisión. Una de ellas, la modulación por codificación en rejilla (*Trellis Coded Modulation* – TCM), ejemplifica el valor de las técnicas de corrección de errores hacia adelante. Se exponen los conceptos teóricos y se examinan los módems fabricados bajo las normas V. 32, V. 33 y V. 34.

### 4.2.5 MODULACIÓN CODIFICADA EN REJILLA

La teoría de las telecomunicaciones establece que, cuanto mayor sea la distancia *Hamming* de un código, tiene mejores posibilidades para corregir datos corrompidos. Es posible lograr una mayor distancia *Hamming* haciendo un código más complejo o cambiando la relación del código (la relación entre bits de corrección de errores hacia adelante vs. los bits de datos de usuario).

Sin embargo, cuanto mayor sea el número de bits extras (redundantes) menor será el caudal de los datos. Esto crea un compromiso entre usar el ancho de banda existente en el enlace y tener la capacidad aún de producir el máximo de bits por símbolo. Más aún, los bits redundantes requieren un patrón o modelo de constelación más denso, el cual reduce la inmunidad al ruido de la señal transmitida. No obstante, se puede plantear razonablemente el siguiente escenario: Asumiendo que muchos elementos involucrados en una transmisión de datos a menudo crearán errores, la



**Figura 4.2** Asignación de cambios de fase y amplitud. Diagrama vectorial V. 29

Q2	Q3	Q4	Cambio de fase (*)
0	0	1	0°
0	0	0	45°
0	1	0	90°
0	1	1	135°
1	1	1	180°
1	1	0	225°
1	0	0	270°
1	0	1	315°

(\*) **Observación:** El cambio de fase es el desplazamiento real de fase en línea en la región de transición entre el centro de un elemento de señal y el centro del elemento siguiente.

**Tabla 4.6** Codificación de 3 bits del módem V. 29

transmisión de la señal siempre empezará con un valor conocido y que está confinado dentro de ciertos límites. Supongamos también que desarrollamos un método en el cual la señal (derivada y codificada del tren de datos) sólo puede asumir ciertas características (estados) en línea.

Asimismo, supongamos que los bits de usuario son interpretados de tal forma que solamente determinados estados se permiten existir después de estados previos. Esto significa que el dispositivo transmisor acepta una serie de bits del usuario y desarrolla unos patrones de bits adicionales todavía más restrictivos desde estos bits. Más aún, el patrón de bits previos del usuario (llamado un estado) sólo permite para asumir otros patrones de bits determinados (estados). Otros estados se invalidan

y nunca son transmitidos. El transmisor y el receptor están programados para interpretar los estados permitidos y las transiciones de estado permisibles. Si el receptor recibe estados y transiciones de estados (por distorsiones en el canal) que difieren de convenciones predefinidas, éste asume que ocurrió un error en el enlace.

Debido a que, por convención, el transmisor y el receptor conocen los estados de transmisión y las permisibles transiciones de estados, el receptor analiza la señal recibida y hace la mejor decisión (su mejor adivinanza) sobre qué estado debe asumir la señal. Éste analiza los estados actuales, los compara con los estados previos y elige el estado de mayor probabilidad. El receptor utiliza la historia de la trayectoria para reconstruir los bits dañados. Teóricamente se establece que esta modulación logra una ganancia de 1 a 3 dB.

#### 4.2.6 MÓDEM V.32 Y V.33

Estos módems operan a 9600 bps sobre dos hilos, *full duplex* por vía red telefónica conmutada. Tiene implementadas las combinaciones de velocidades sincrónicas de 9600 y 4800 bps.

La figura 4.3 muestra el diagrama de bloques de la codificación de rejilla V.32 y V.33. El tren de pulsos del usuario se divide en

grupos de 4 bits, llamados  $Q_{1n}$ ,  $Q_{2n}$ ,  $Q_{3n}$  y  $Q_{4n}$ , donde  $n$  designa el número de secuencia del grupo. Los bits  $Q_{1n}$  y  $Q_{2n}$  son codificados por un codificador diferencial (de un bit de retardo) como  $Y_{1n}$  y  $Y_{2n}$ , cuyas reglas de codificación se muestran en la tabla 4.7. Nótese que los valores de las entradas previas  $Y_{1n-1}$  y  $Y_{2n-1}$  son usados para obtener la salida del codificador.

Los bits  $Y_{1n}$  y  $Y_{2n}$  son las entradas de un codificador de convolución, cuya lógica genera un bit  $Y_{0n}$  redundante, basado en las reglas de la tabla 4.8. Se llama “de convolución” pues la

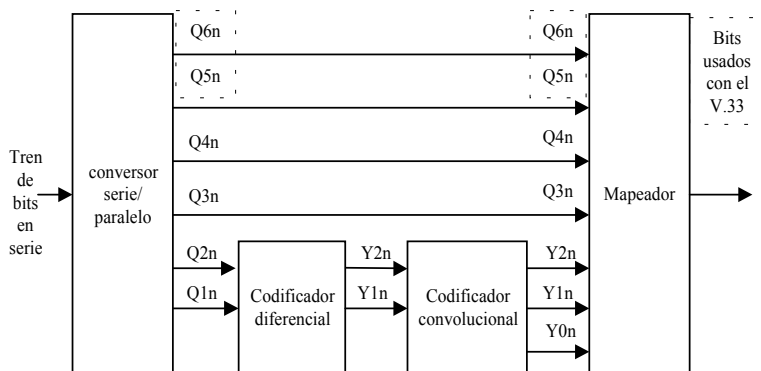


Figura 4.3 Diagrama de bloques de codificación en rejilla (V.32 y V.33)

ENTRADAS		ENTRADAS PREVIAS		SALIDAS	
$Q_{1n}$	$Q_{2n}$	$Y_{1n-1}$	$Y_{2n-1}$	$Y_{1n}$	$Y_{2n}$
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1
0	0	1	0	1	0
0	0	1	1	1	1
0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	1	1
0	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0
1	0	0	1	1	1
1	0	1	0	0	1
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	1	0
1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	0	1

Tabla 4.7 Reglas del codificador diferencial

ecuación que rige su conducta tiene la forma de la integral de convolución utilizada en telecomunicaciones. La figura 4.4 muestra el diagrama del codificador de convolución. Finalmente, los 5 bits:  $Y_{0n}$ ,  $Y_{1n}$ ,  $Y_{2n}$ ,  $Q_{3n}$  y  $Q_{4n}$  (7 bits para la norma V.33) se codifican según las reglas de la tabla 4.9. El patrón de constelación resultante (figura 4.5) tiene 32 puntos, correspondientes a los cinco bits usados ( $2^5 = 32$ ).

ENTRADAS CODIFICADAS				Codificación Trellis		
$(Y_0)$	$Y_1$	$Y_2$	$Q_3$	$Q_4$	Re	Im
0	0	0	0	0	-4	1
	0	0	0	1	0	-3
	0	0	1	0	0	1
	0	0	1	1	4	1
	0	1	0	0	-4	-1
	0	1	0	1	0	3
	0	1	1	0	0	-1
	0	1	1	1	-4	-1
	1	0	0	0	-2	3
	1	0	0	1	-2	-1
	1	0	1	0	2	3
	1	0	1	1	2	-1
	1	1	0	0	2	-3
	1	1	0	1	2	1
	1	1	1	0	-2	-3
	1	1	1	1	-2	1

Tabla 4.8 Reglas del codificador de convolución

4.2.7 DECODIFICACIÓN

Existen tres métodos de decodificación para estos códigos, que desarrollamos a continuación:

a) Algoritmo de Viterbi

Este algoritmo ejecuta la decodificación de máxima verosimilitud, logra la performance óptima pero requiere extenso hardware para procesamiento y almacenamiento.

b) Decodificación de reglamentación (feedback decoding)

Sacrifica performance por un hardware simplificado

c) Decodificación Secuencial

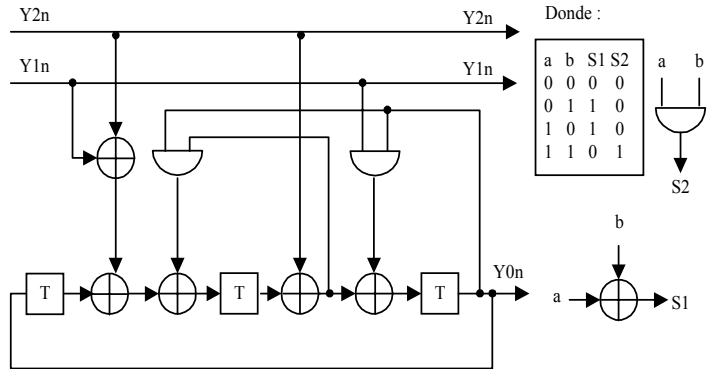


Figura 4.4 Diagrama de bloques del codificador convolucional

Este método intermedio se aproxima a la performance óptima a un grado que depende de la complejidad del decodificador. Se basa también en el efecto de la divergencia de métrica.

El módem receptor utiliza el algoritmo de máxima probabilidad o verosimilitud o de Viterbi para decodificar los datos recibidos (que vienen con una codificación redundante) para elegir la señal más probable que esté más cerca de un punto de la constelación. Los estados A, B, C y D son usados por la velocidad de 4800 bps y para sincronización. En la tabla 4.10 se presenta un sumario sus características.

ENTRADAS CODIFICADAS					Codificación Trellis	
(Y <sub>0</sub> )	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>	Re	Im
1	0	0	0	0	-3	-2
	0	0	0	1	1	-2
	0	0	1	0	-3	2
	0	0	1	1	1	2
	0	1	0	0	3	2
	0	1	0	1	-1	2
	0	1	1	0	3	-2
	0	1	1	1	-1	-2
	1	0	0	0	1	4
	1	0	0	1	-3	0
	1	0	1	0	1	0
	1	0	1	1	1	-4
	1	1	0	0	-1	-4
	1	1	0	1	3	0
	1	1	1	0	-1	0
	1	1	1	1	-1	4

Tabla 4.9 Mapeo de los bits de salida del módem V.32

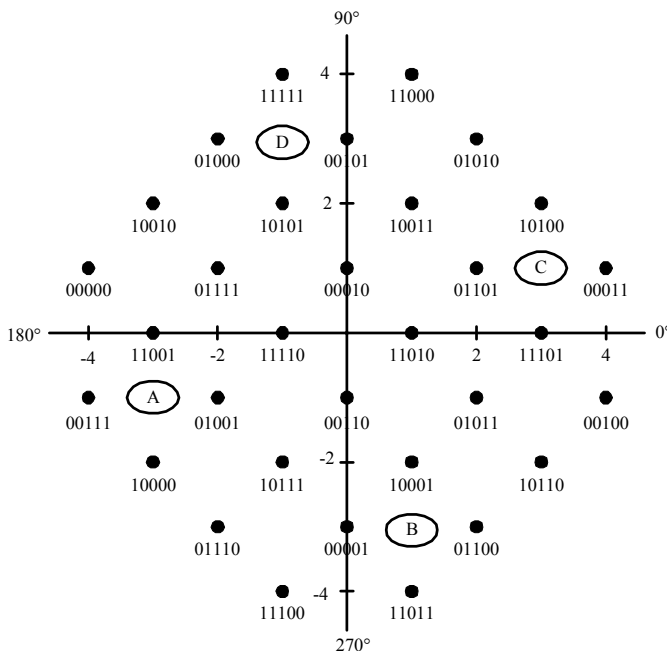


Figura 4.5 Constelación de 32 puntos del módem V.32 a 9600 bps

4.2.8 CARACTERÍSTICAS DEL MÓDEM V. 34

En la tabla 4.12 se presenta un sumario de las características de estos módems. La velocidad de transmisión máxima se alcanza en líneas completamente ‘limpias’; de no ser así, los módems bajarían su velocidad en tramos de 2400 en 2400 bps hasta lograr una transmisión aceptable.

Respecto a la constela-

ción, ellos mapean 9 bits por cada cambio de línea, de tal manera a la máxima velocidad de modulación de 3200 Bd obtendríamos 28800 bps de transmisión (9x3200).

Al iniciar una comunicación los módems V.34 inician una prueba de la línea para detectar qué parámetros característicos tiene. Si detectan que van a operar a través de un enlace PCM usan la codificación

no lineal para contrarrestar el efecto propio de estos enlaces, distribuyendo los puntos de la constelación de forma no lineal (más juntos al centro, más separados hacia el exterior).

El pre-énfasis adaptativo contrarresta la mayor atenuación que existe en la alta frecuencia, amplificando la parte superior del ancho de banda para robustecer más la señal.

Una vez halladas las características de la línea, los módems prueban diferentes portadoras, hasta hallar aquélla que brinde mejor performance. Entre las opciones tenemos:

- **Transmisión asimétrica:** se transmite en una velocidad en un sentido y en otra en el sentido opuesto.
- **Canal secundario:** para diagnóstico o administración remota del módem.

Un aspecto para resaltar es que los dos módems que conforman un enlace deben ser de la misma marca, esto debido a que la norma no está muy desarrollada.

Otro aspecto es que la actualización de los módems se hace mayormente por software, por cambio del PROM y en caso extremo habría que retornar el módem a la fábrica. Estos módems son inteligentes y tienen microprocesadores digitales de señales (DPS) de 40 MIPS (*Million Instructions Per Second*). El diagrama de bloques de un módem de este tipo se aprecia en la figura 4.6.

Para concluir, estos módems usan la norma V.42 bis logrando una relación de compresión de 4:1, que permite una transferencia de datos compactada de 115.200 bps.

#### 4.2.9 V.42

Entre las normas del Libro Azul, aprobadas por el ITU-T, tenemos la norma “PROTECCIÓN CONTRA ERRORES- PROTOCOLO LAP-M - V.42” (1988), la cual describe los protocolos de corrección errores para uso en los módems de la serie V. La recomendación contiene un protocolo basado en el HDLC denominado Procedimiento de Acceso al Enlace para Módems (*Link Access Protocol for Modems - LAP-M*).

Número de serie:	V.32	v.33
Vtx (bps):	9600	14400
Vm (baudios):	2400	2400
Bits por baudio:	5:1	7:1
División de canales:	Cancelación de eco	Cancelación de eco
Portadoras:	1800	1800
Half / Full Duplex	Full Duplex	Full Duplex / Semiduplex
Síncrono/asíncrono	Síncrono	Síncrono
Modulación:	TCM	TCM
Línea conmutada	Sí	No
Línea dedicada	Punto a punto, 2 hilos	Punto a punto, 4 hilos
Ecuación:	Adaptativa	Adaptativa
Normas adicionales:	V.2, V.28, V.25 bis, 2110, Aleatorizador	V.2, V.28, 2110, V.25 bis

Tabla 4.10 Características del módem V.32 y v.33

Característica	V.34
Velocidad máxima de transmisión	28800 bps
Velocidad de modulación (Bd)	2400, 3000, 3200 Bd
Codificación Trellis	4 dimensiones (4D)
Puntos en la constelación	Hasta 768
Prueba de la línea	Sí
Preénfasis adaptativo	Sí
Opciones	
Precodificación	Sí
Transmisión asimétrica	Sí
Canal secundario	Sí

Tabla 4.12 Características principales módem V.34

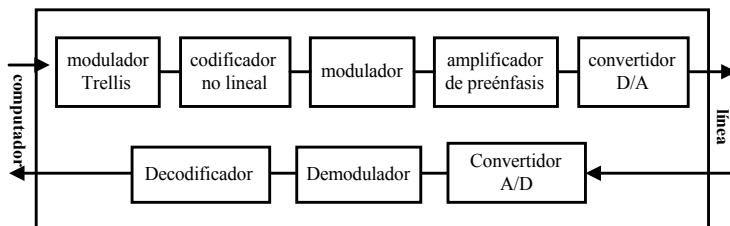


Figura 4.6 Diagrama simplificado de bloques de un módem V.34

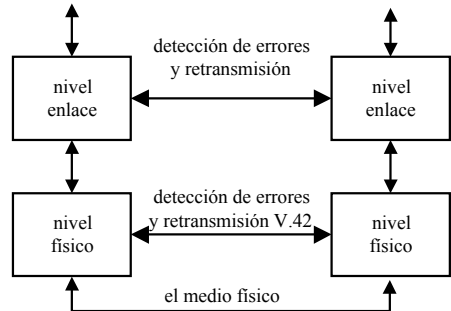
El LAP-M es un subconjunto del protocolo HDLC. Esta norma efectúa la conversión asíncrona síncrona, así como detección de errores y retransmisión de los datos errados.

En la figura 4.8 se ilustra que estas dos funciones han sido desplazadas al nivel físico. La V. 42 incluye los siguientes servicios:

- Protocolo de control de enlace para el secuenciamiento y control de flujo del tráfico de datos.
- Control de errores cíclico para detectar errores (CRC)
- Conversión de formato asíncrono a síncrono y viceversa (norma V. 14)

En módem detector de errores tiene cuatro componentes que se ilustran en las figuras 4.7 y 4.8. La función de control es el sistema operativo del V. 42 y es responsable de:

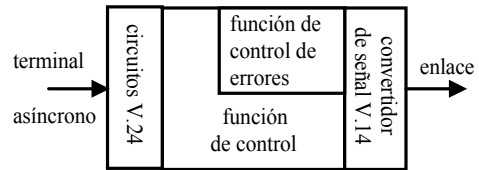
- Conducir el intercambio de información con el módem remoto para determinar si es capaz de soportar el esquema de corrección de errores V. 42.
- Asumir el modo no corrector de errores si el módem remoto no acepta la norma V. 42.
- Administrar la entrega de datos entre las funciones de control de error y asegura que no se pierdan estos durante la transferencia.
- Renegociar los parámetros de operación de los módems durante la conexión.
- Liberar la comunicación.



**Figura 4.7** Detección de errores en el nivel físico

La función de control de errores es responsable de:

- Entregar datos con seguridad por la interface.
- Negociar los parámetros de nivel enlace.
- Realizar la corrección de errores y retransmisión de los datos malogrados.
- Obedece las órdenes de prueba de lazo para mantenimiento.



**Figura 4.8** Diagrama de control de errores V.42 en un módem

### 4.3 V. 42 BIS

Esta norma “Compresión de datos - V. 42bis” se basa en el algoritmo BTLZ de la British Telecom. Su función es comprimir los datos antes de transmitirse, logrando así una mayor transferencia de información. La compresión busca mejorar el uso del canal de comunicaciones.

Prácticamente todos los símbolos generados por las computadoras están comprendidos en un número fijo de bits codificados que representa un carácter. Por ejemplo el código ASCII tiene un formato fijo 8 bits de longitud por carácter. Esto significa que todos los caracteres son de igual longitud, aun cuando no se transmiten con igual frecuencia.

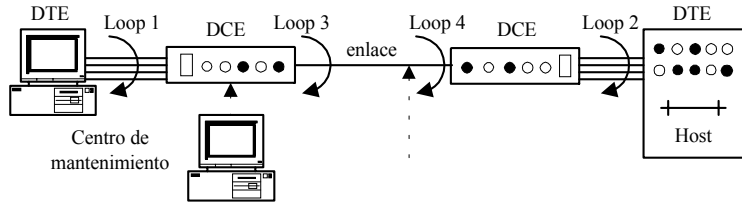
Por ejemplo, las vocales, los espacios en blanco y los números son usados más que las consonantes y caracteres tales como el signo de interrogación. Esto produce un ineficiente uso del enlace. Una solución es adaptar un código de longitud variable para representar a los caracteres de longitud fija. De esta manera los caracteres más frecuentemente transmitidos son comprimidos, ellos son representados por un único conjunto de bits más pequeño que el código convencional. Esta técnica de compresión brinda grandes ahorros en los costos de comunicaciones.

### 4.4 V. 54

Esta norma llamada “NORMA DE CALIDAD DE TRANSMISIÓN Y MANTENIMIENTO V. 54” trata sobre los bucles de prueba que se realizan en los módems con fines de prueba. Además esta norma lista las pruebas comparativas para los módems, que son de gran utilidad para las pruebas de los enlaces físicos o radioeléctricos definiendo los cuatro procedimientos para la prueba de un enlace.

Un problema del enlace de comunicaciones se comprueba colocando a los módems en modo de lazo realimentado (*loop back*).

Las señales de modo lazo realimentado, cuyos modos de implementación se presentan en la figura 4.10, se analizan para determinar la calidad del enlace y la tasa de errores.



**Figura 4.10** Pruebas de lazo de realimentación V.54

**a) LAZO 1 (PRUEBA DE LAZO DIGITAL LOCAL)**

La interface del terminal con el módem puede ser probada haciendo el lazo 1 ó lazo digital local. De esta manera el terminal o un generador de patrón de bits de prueba puede entregar una secuencia de bits y verificar si llegan correctos o con error. Si llegan correctos significa que el enlace entre el terminal y el módem local está en buenas condiciones. De lo contrario, se requiere determinar la causa del error.

**b) LAZO 3 (PRUEBA DE LAZO ANALÓGICO LOCAL)**

Una vez superado el lazo 1 se procede a esta prueba. Con este lazo se prueba si el módem local opera adecuadamente, es decir si modula y demodula las señales digitales que ingresan y salen de éste. Si la prueba es satisfactoria y no hay errores se continuará con el lazo 4 (lazo analógico remoto). De lo contrario, es probable que el módem esté defectuoso.

**c) LAZO 4 (PRUEBA DE LAZO ANALÓGICO REMOTO)**

Esta prueba sólo es procedente en circuitos de 4 hilos. Aquí se envían señales desde el terminal al módem local, el cual las trasmite a la entrada de línea del módem remoto. Si la prueba resulta sin errores significa que el enlace está en buen estado, y entonces se procederá con el lazo 2 (prueba de lazo digital remoto). De ser incorrectos los resultados, es probable que la línea tenga anomalías, por lo cual se debe usar otro enlace, si lo hubiera (enlace de repuesto).

**d) LAZO 2 (PRUEBA DE LAZO DIGITAL REMOTO)**

Con esta prueba se pone la salida del módem remoto en lazo interno. Si la prueba es satisfactoria, el módem está bien. Si fuera incorrecta, es posible que: la avería puede encontrarse en el terminal remoto o en su conector o que el módem remoto se encuentre averiado. Para una mayor comprobación se puede proceder a efectuar las mismas pruebas pero en sentido contrario, es decir desde terminal y módem remotos.

## ANEXO A: RELACIONES DE LAS VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN Y DE MODULACIÓN EN LA CODIFICACIÓN MULTIBINARIA

La expresión ‘multibinaria’ se deriva de la palabra binario. M es simplemente un dígito que representa el número de posibles condiciones que puede tomar una señal sinusoidal en el canal telefónico. Las técnicas de modulación digitales FSK y PSK son sistemas binarios, es decir sólo hay dos posibles condiciones de salida. Una condición representa un “1” lógico y la otra representa un “0” lógico; así ellos son sistemas multibinarios donde  $M = 2$ .

Sin embargo, a menudo es ventajoso codificar a un nivel más alto que el nivel binario. Por ejemplo, un sistema PSK que tenga cuatro condiciones (fases) posibles de salida es un sistema multibinario donde  $M = 4$ . Si fueran dieciséis posibles condiciones de salida, M sería igual a 16.

Matemáticamente se tiene que:

$$N = \log_2 M \quad \text{ó} \quad 2^N = M$$

donde: N = número de bits

M = número de condiciones posibles de salida con N bits

Por ejemplo, si se permitiera ingresar 2 bits a un modulador antes de cambiar la salida, tendríamos:

$$N = 2 \quad \text{y} \quad 2 = \log_2 M$$

Tomando el antilogaritmo de ambos lados de la ecuación tendríamos:

$$2^2 = M \quad \text{entonces} \quad M = 4$$

Un valor de  $M = 4$  indica que con 2 bits, son posibles cuatro diferentes condiciones de salida. Para los otros valores de N tendríamos:

$$N = 3, \quad \text{entonces} \quad 2^3 = M \quad \text{es igual a} \quad 2^3 = 8 = M$$

$$N = 4, \quad \text{entonces} \quad 2^4 = M \quad \text{es igual a} \quad 2^4 = 16 = M$$

La modulación por desplazamiento de fase cuaternaria (QPSK) es una forma de modulación angular, con amplitud constante. La modulación QPSK utiliza la técnica multibinaria donde  $M = 4$  (de aquí el nombre ‘cuaternaria’). Con esta modulación son posibles cuatro fases de salida para una sola onda portadora. Para estas cuatro diferentes fases debe haber cuatro diferentes condiciones de entrada. Tomando los bits de entrada de dos en dos es posible tener cuatro condiciones: 00, 01, 10 y 11. De allí, en el QPSK, los datos binarios se toman en grupos de 2 bits llamados **dibits**. Cada dibit genera una de las cuatro posibles fases de salida. Por cada 2 bits que ingresan al modulador, ocurre un solo cambio (1 baudio). Por lo tanto, la velocidad de cambio (velocidad de modulación) a la salida es igual a la mitad de la velocidad de ingreso de bits (velocidad de transmisión) al modulador. A continuación presentamos unos ejemplos.

**Ejemplo:** Módem QAM

Un módem V.22bis que trabaja a una velocidad de transmisión de 2400 b/s utiliza modulación QAM, tomando los bits en grupos de dos, o sea en dibits. Hallar su velocidad de modulación.

$$V_t = 2400 \text{ bps}$$

Entonces tenemos que  $M = 2^N = 2^2 = 4$  y también:  $V_t = V_m \log_2 M$ , luego:  $V_m = 1200$  Baudios.

## ANEXO B: CODIFICACIÓN CONVOLUCIONAL O (CODIFICACIÓN MODULACIÓN TRELLIS)

La unidad fundamental de hardware de la codificación convolucional es un registro de corrimiento con L-1 etapas, como se muestra en la figura B-1.

Cada marca de salida de ganancia ‘g’ es un dígito binario que representa una conexión en corto circuito o un circuito abierto.

Los bits de mensaje en el registro son combinados por sumadores de módulo 2 para formar el bit codificado:

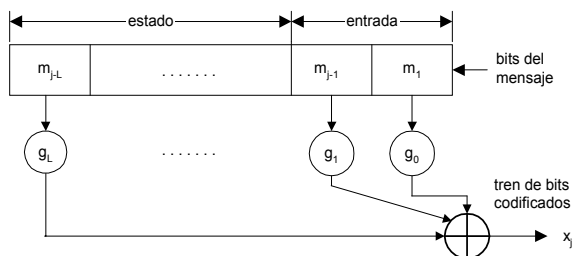


Figura B.1 Registro de desplazamiento para codificación convolucional

$$x_j = m_j - Lg_L \oplus \dots \oplus m_{j-1}g_1 \oplus m_j g_0 = \sum m_j - i g_i \pmod{2}$$

El nombre de ‘codificación convolucional’ se debe a que la ecuación (1) tiene forma de una convolución binaria, análoga a la integral de convolución. Nótese que ‘ $x_j$ ’ depende sobre la entrada presente o actual ‘ $m_j$ ’ y sobre el estado del registro definido por los bits de mensaje previos ‘ $L$ ’. También un bit de mensaje particular ejerce una influencia que alcanza hasta los ‘ $L+1$ ’ bits codificados sucesivos, conforme éste se desplace a través del registro. Para proveer los bits extras necesarios para el control de errores, un codificador convolucional completo debe generar bits a su salida a una velocidad mayor que la velocidad de los bits del mensaje  $r_b$ . Esto se logra conectando uno o más sumadores de módulo-2 al registro e intercalando los bits codificados a través de un conmutador. Por ejemplo, el codificador de la figura

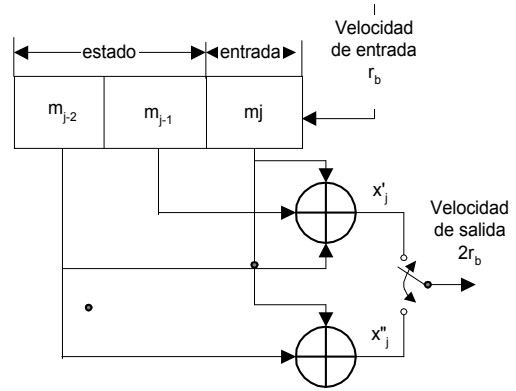


Figura B.2 Codificador convolucional con  $n=2$ ,  $k=1$  y  $L=2$

Figura B.2 genera  $n=2$  bits codificados.

$$x'_j = m_{j-2} \oplus m_{j-1} \oplus m_j \quad x''_j = m_{j-2} \oplus m_j$$

los cuales son intercalados por el conmutador para producir un tren de salida igual a:

$$X = x'_1 x''_1 x'_2 x''_2 x'_3 x''_3$$

La velocidad de salida en este caso es igual a  $2r_b$  y la velocidad del código es  $R_c = 1/2$  - tal como un código  $(n, k)$  con  $R_c = k/n = 1/2$ , donde:

$n$  = número de bits codificados a la salida por bit de entrada

$L$  = número de bits de estado

$k$  = número series de registros de entrada

Sin embargo, a diferencia de un código de bloque, los bits de entrada no han sido agrupados en palabra. En vez de esto, cada bit de mensaje tiene un alcance de influencia de longitud igual a  $n(L+1) = 6$  bits sucesivos de salida. La cantidad  $n(L+1)$  es la longitud de restricción medida en bits codificados de salida, donde ‘ $L$ ’ es la memoria del codificador medida en términos de bits de mensaje de entrada. Entonces podríamos decir que este codificador produce un código de convolución con  $n=2$ ,  $k=1$  y  $L=2$ .

Hay tres maneras de representación gráfica, las cuales están relacionadas y son:

- El árbol de código (figura B.3).
- El código de enrejado o *Trellis Code* (figura B.4).
- El diagrama de estado (figura B.5).

De acuerdo al procedimiento normal de operación, asumimos que el registro ha sido inicializado y contiene todos los dígitos 0 cuando llega el primer mensaje  $m_1$ . De aquí el estado inicial es  $m_{-1}m_0 = 00$  y la ecuación 2 nos da una salida igual a:

$$x'_1 x''_1 = 00 \text{ si } m_1 = 0 \quad \text{ó} \quad x'_1 x''_1 = 11 \text{ si } m_1 = 1$$

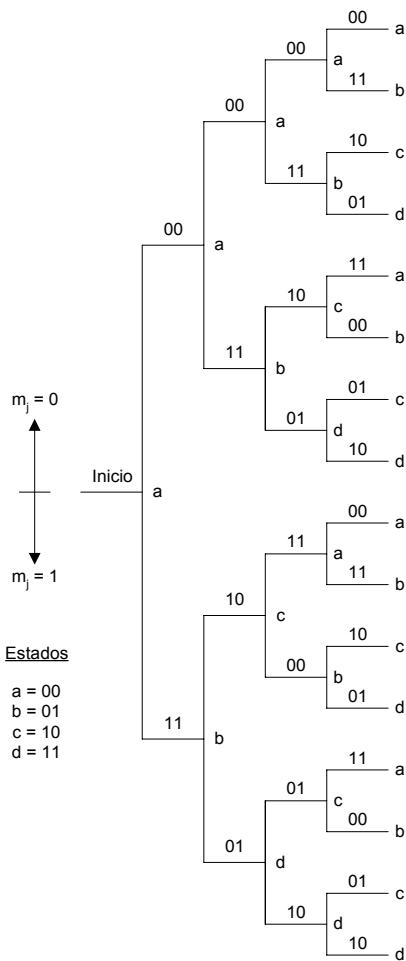


Figura B.3 Diagrama de árbol para el codificador (2, 1, 2)

## ANEXO C: TRANSMISIÓN DE CARACTERES ASÍNCRONOS SOBRE CANALES SÍNCRONOS - V.14

Esta norma define el procedimiento para transmitir tráfico asíncrono sobre canales síncronos y está limitada a velocidades síncronas de hasta 19200 bps.

En la figura B.5 se muestra la operación de esta norma, V.14. Las reglas para convertir tráfico asíncrono a tráfico síncrono son:

**Regla 1:** El módem del lado receptor al recibir caracteres asíncronos rodeados de bits de arranque/parada,

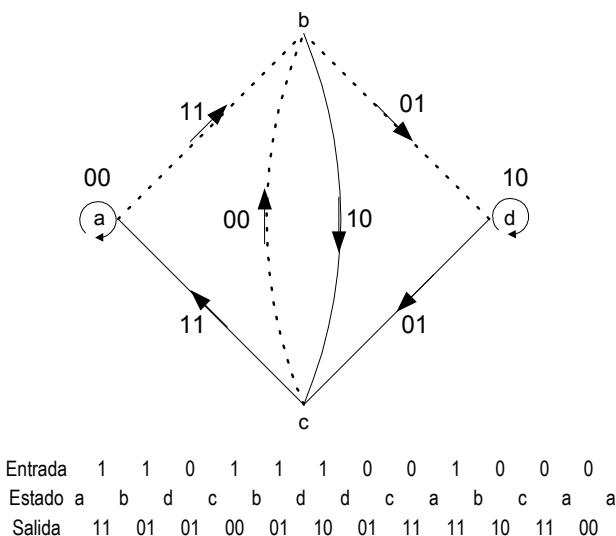


Figura B.5 Diagrama de estado para codificador (2, 1, 2)

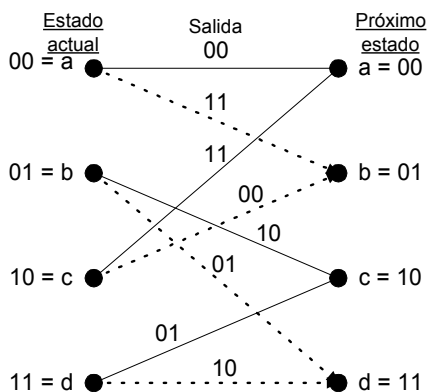


Figura B.4 Codificación de rejilla (Trellis) para codificador (2, 1, 2)

elimina las señales de parada si el terminal transmisor tiene mayor velocidad que la del módem.

**Regla 2:** A la inversa si el terminal transmisor es de velocidad menor que el canal del módem síncrono, el módem insertará señales adicionales de parada.

**Regla 3:** El módem receptor ajusta el tren de pulsos que recibe, sea eliminando o añadiendo señales de parada adaptándose a la velocidad del terminal. En la figura B.5 se muestra esta norma.

## ANEXO D: EQUIPO DE LLAMADA Y RESPUESTA AUTOMÁTICA EN LA RED TELEFÓNICA BÁSICA CON CIRCUITOS DE SERIE 100 - V. 25 BIS

Esta norma describe las convenciones para las llamadas y respuestas automáticas, usadas en los módems que trabajan sobre la red telefónica conmutada e incluye los procedimientos para deshabilitar los dispositivos de control de eco.

Esta recomendación usa los circuitos de serie 100 de la V.24, transmisión serial, utilizando para tal fin sólo un circuito para entregar el dígito a discar (circuito 103 - TD). Sus circuitos y funciones se aprecian en la tabla D.1.

Esta norma debe:

- Asegurar que el módem esté disponible.
- Proporcionar el número telefónico al cual llamará el equipo de llamada automática.
- Abandonar la llamada si es necesario.
- Controlar la transferencia de datos.
- Iniciar la liberación de la llamada cuando es requerido.

CIRCUITO		DESCRIPCIÓN	HACIA EL
103	TD	Datos generados por TERMINAL	MÓDEM
104	RD	Recepción de datos	TERMINAL
106	RFS	MÓDEM listo para transmitir	TERMINAL
107	DSR	MÓDEM listo para operar	TERMINAL
108/2	DTR	TERMINAL listo para operar	MÓDEM
125	RI	Indicador de llamada	TERMINAL

Tabla D.1 Circuitos de intercambio para llamada y respuesta automática V. 25 bis

## ANEXO E : EL DECIBELIO (DB)

Para iniciar este tema es necesario precisar algunas definiciones.

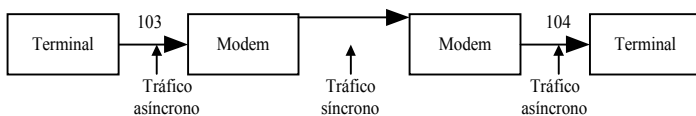


Figura E.1 Operación de la norma

**Potencia:** es una cantidad de energía eléctrica que es tomada o entregada por un dispositivo.

**Nivel:** es la expresión de la potencia relativa de una señal en varios puntos de un circuito.

Los niveles de un canal telefónico se miden en decibelios, el cual se define por:

$$D = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \text{ dB} \quad \frac{P_1}{1 \text{ mW}} = 10^{\frac{D}{10}}$$

En esta definición tenemos que el decibelio es 10 veces el logaritmo decimal de la relación de dos potencias,  $p_1$  y  $p_2$ . Si el valor de la potencia  $p_2$  es igual a 1 mW tendremos la definición del dBm:

La relación S/N está dada por:  $(S/N)_{\text{dB}} = S_{\text{dBm}} - N_{\text{dBm}}$

$$D = 10 \log \frac{P_1}{1 \text{ mW}} \text{ dBm}$$

**Ejemplo 1:** ¿A cuántos dBm equivale la potencia de una señal de 0,03116 mW?

*Solución:*  $D = 10 \log \frac{0,03116}{1 \text{ mW}} \text{ dBm}$

$$D = 10 \log (0.0316) = 10 (-1.5) = -15 \text{ dBm}$$

**Ejemplo 2:** Si una señal ingresa a un canal con 0 dBm, ¿qué potencia entrega?

*Solución:* Usando la segunda ecuación tenemos que:

$$\frac{P_1}{1 \text{ mW}} = 10^{\frac{0}{10}} = 10^0 = 1 \quad \text{entonces } p_1 = 1 \text{ mW}$$

**Ejemplo 3:** Si el ruido ingresa a un canal con -90 dBm, ¿a qué potencia ingresa?

*Solución:* Usando la segunda ecuación tenemos que:

$$\frac{P_1}{1 \text{ mW}} = 10^{\frac{-90}{10}} = 10^{-9} \quad p_1 = 10^{-9} \text{ mW} = 10^{-12} \text{ W}$$

**Ejemplo 4:** El ruido medido en el extremo del receptor de un canal telefónico es de -46 dBm, con una atenuación en la línea de 12 dB.

Los datos son transmitidos a -10 dBm.

Determinar la relación S/N del enlace.

*Solución:* El nivel de la señal recibida en el extremo receptor es:

$$\text{Nivel de señal} = -10 \text{ dBm} - 12 \text{ dB} = -22 \text{ dBm}$$

La relación S/N es:

$$S/N = -22 \text{ dBm} - (-46 \text{ dBm}) = -22 \text{ dBm} + 46 \text{ dBm} = 24 \text{ dB}$$

## ANEXO F: PROTOCOLO MICROCOM NETWORKING PROTOCOL - MNP

Este es un protocolo propietario de la empresa Microcom, Inc. de Norwood, Massachusetts para sus módems. Entre sus protocolos los más importantes son los siguientes:

### a) CLASE 1

Protocolo asíncrono half duplex. El módem que ha transmitido deberá esperar un ACK (confirmación), para empezar a transmitir nuevamente. El formato tiene un tamaño máximo de 260 octetos.

### b) CLASE 2

Protocolo asíncrono full duplex que operando sobre un enlace asíncrono trabaja sobre tramas HDLC. Las tramas HDLC y las confirmaciones ACK pueden ser transmitidos simultáneamente. La trama tiene un tamaño máximo de 64 bytes, el cual debe ser negociado en la sincronización inicial (*handshaking*).

### c) CLASE 3

Transmisión asíncrona duplex que es transmitida sobre un enlace síncrono full duplex. La trama tiene un máximo de 64 bytes negociables al inicio de la sincronización.

### d) CLASE 4

Este protocolo proporciona permite variar el tamaño de la trama en función de la calidad de la línea, esto significa que mientras mejor sea la calidad de línea se transmitirán tramas de mayor tamaño. Utiliza un método adaptativo. La trama puede tener 256 bytes.

e) **CLASE 5**  
 Protocolo de compresión de datos diseñado con la finalidad de maximizar la utilización del enlace. Así un enlace de 2400 bps puede transferir 4800 bps si tiene una compresión de 200 por ciento.

f) **CLASE 6**  
 Protocolo de compresión para enlaces de 9600 bps.  
 g) **CLASE 7**  
 Protocolo de compresión mejorada para velocidades de 2400 bps en módems V.22bis.  
 h) **CLASE 8**  
 Protocolo de compresión para módems V.32.

**ANEXO G : CONTROL DE ERRORES: PARIDAD, CRC, VRC, LRC Y CHECKSUM**

Para detectar errores existen diversos métodos dependiendo su aplicación del tipo de errores en la línea. Existen errores aleatorios de un bit o dos bits y errores que se presentan en ráfagas.

**CONTROL DE ERRORES POR PARIDAD**

Este método detecta un solo error en transmisiones asíncronas y protocolos orientados al byte. Con este esquema se añade un bit extra, el bit de paridad, a cada caracter antes de ser transmitido. En la recepción el receptor realiza una operación inversa y si el resultado es el mismo, se asume que no hubo errores. Si es diferente se asume que hubo un error. Sin embargo si hay dos errores, este caracter pasa con estos errores sin detectar.

**CHECKSUM**

Cuando se transmiten bloques de caracteres, hay una probabilidad incrementada de que un carácter, y de aquí el bloque, contenga un error. La probabilidad de que un bloque tenga un error es conocida como *Block Error Rate* (BKER). En este método se colocan los caracteres en un bloque de dos dimensiones. A cada caracter se le adiciona un bit de paridad con el método de control de errores por paridad. Adicionalmente se le añade un bit de paridad por cada posición de bits a través de todos los caracteres. Es decir se genera un caracter adicional, en el cual su bit iésimo es el bit de paridad para los iésimos bits de los caracteres. Esto puede ser expresado con una operación de OR-EX. Entonces el bit de paridad al final de cada carácter es el bit de paridad de fila y es:

$$R_j = b_{1j} \oplus b_{2j} \oplus \dots \oplus b_{nj}$$

Donde:

R<sub>j</sub> = bit de paridad del caracter jésimo.

B<sub>ij</sub> = bit iésimo del caracter jésimo.

n = número de bits en un caracter.

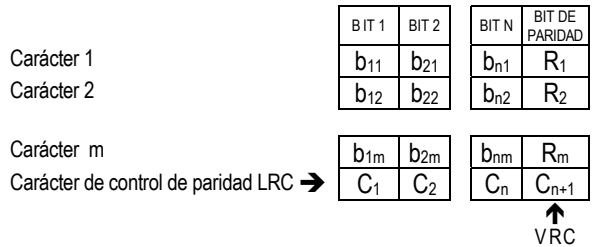
Estos bits de paridad generados al final de cada caracter constituyen el Control de Redundancia Vertical (*Vertical Redundancy Check – VRC*).

Para generar el caracter de chequeo de paridad se usa la fórmula: C<sub>i</sub> = b<sub>i1</sub> ⊕ b<sub>i2</sub> ⊕ ... ⊕ b<sub>in</sub>

Donde: C<sub>i</sub> = bit iésimo del caracter de control de paridad.

m = número de caracteres en un trama.

Este caracter es el Control de Redundancia Longitudinal (*Longitudinal Redundancy Check – LRC*).



**CONTROL DE REDUNDANCIA CÍCLICO**

Una técnica más poderosa de control de errores es el control cíclico de redundancia (*Cyclic Redundancy Check – CRC*). Éste funciona así: Dado un mensaje o trama de k bits de longitud, el transmisor genera una secuencia de n bits, conocida como secuencia de control de trama (*Frame Check Sequence – FCS*), de modo que la trama resultante, consistente en k+n bits es exactamente divisible por algún número predeterminado. Luego el receptor divide la trama entrante por el mismo número predeterminado y si no hay residuo, se asume que la trama llegó sin error.



El residuo es añadido al valor de 2nM para dar T = 101000110101110, es cual es transmitido.  
 Si no hay errores, el receptor recibirá a T intacto. La trama recibida es dividida por P:

$$\begin{array}{r}
 101000110101110 \quad | \quad \underline{110101} \\
 \underline{110101} \phantom{00000000000000} \\
 \phantom{101000}111011 \\
 \phantom{101000}110101 \\
 \phantom{101000}111010 \\
 \phantom{101000}\underline{110101} \\
 \phantom{101000}111110 \\
 \phantom{101000}\underline{110101} \\
 \phantom{101000}110101 \\
 \phantom{101000}\underline{110101} \\
 \phantom{101000}00
 \end{array}$$

Debido a que no hay residuo, se asume que se ha recibido una trama sin errores.  
 Existen 4 versiones de P ampliamente utilizadas:

$$\text{CRC-12} = X^{12} + X^{11} + X^3 + X^2 + X + 1$$

$$\text{CRC-16} = X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$$

$$\text{CRC-CCITT} = X^{16} + X^{12} + X^5 + 1 \quad (\text{usado por el HDLC})$$

$$\text{CRC-32} = X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1$$

(usado en redes LAN)