

# **CAPITULO IV**

## **CAPAS ENLACE Y RED**

### **PROTOCOLOS DE COMUNICACION**

#### **4.1. INTRODUCCION**

En el capítulo anterior se mostró un panorama general de la Capa Física de un sistema de comunicación de acuerdo con el Modelo ISO/OSI. Pero la Capa Física es insuficiente para manejar el proceso completo de una comunicación digital entre dos puntos distantes; en efecto, en el intercambio entre dos usuarios existe todo un conjunto de reglas o procedimientos que permiten el movimiento oportuno, ordenado y correcto de la información y la capa física es sólo uno de los elementos que intervienen en el proceso. El conjunto ordenado de reglas que gobiernan este proceso comúnmente se denomina “protocolo de comunicación”, y para cada una de las capas habrá protocolos diferentes. En este capítulo vamos a describir algunos protocolos tanto de Capa Enlace como de Capa Red.

Un protocolo de comunicación es, pues, un conjunto de reglas y procedimientos que proporcionan una técnica uniforme para gestionar un intercambio de información. Estas reglas y procedimientos proveen la administración, asignación y control de los recursos involucrados en el proceso; asimismo, establecen métodos para evitar y/o resolver problemas producidos por situaciones de excepción ocurridas en cualquiera de los elementos que intervienen en el proceso.

En el Capítulo I, al introducir el Modelo de Referencia ISO/OSI, establecimos que la Transmisión de Datos tiene que ver solamente con los tres primeros niveles, incluyendo el medio físico de interconexión. Desde el punto de vista de las telecomunicaciones, el conocimiento de las funciones de las tres primeras capas es suficiente para entender, diseñar, operar y mantener los sistemas de comunicación comúnmente utilizados en la práctica.

En el contexto del Modelo ISO/OSI, la Capa Enlace de Datos es la responsable de la interconexión directa, transparente y libre de errores entre dos puntos o entre dos nodos adyacentes dentro de una red. Ella proporciona los medios para activar, mantener y desactivar el enlace de datos. La Capa Enlace proporciona la trama final o bloque de datos que se va a transmitir, facilita el flujo ordenado de datos entre dos nodos y permite la detección y recuperación de errores. En este capítulo describiremos algunos de los protocolos de capa enlace más utilizados en la práctica.

La tercera capa del Modelo ISO/OSI es la Capa Red, la cual opera a través de la red (de fin a fin), a diferencia de la Capa Enlace la cual opera de punto a punto o nodo a nodo. La función básica de la Capa Red es la de proporcionar una trayectoria eficiente para el flujo de datos a través de la red; esto implica funciones de direccionamiento, enrutamiento, control de flujo, control de error y “empaquetamiento” de la información desde un nodo de entrada a la red (nodo de origen) hasta un nodo de salida de la red (nodo de destino). Las funciones de la Capa Red las explicaremos desde el punto de vista de la Transmisión Digital por Paquetes, definida por el UIT-T en la Recomendación X.25.

Un aspecto de considerable interés en el campo de la Transmisión de Datos y al que no se le ha dado suficiente importancia en el medio académico es el de los “protocolos industriales”. En el estudio de los sistemas de comunicación y de todas las normas que lo conciernen, muy poco se publica, aparte de las revistas especializadas, sobre el tema de los protocolos de comunicación utilizados en la instrumentación y automatización de procesos industriales. La razón fundamental del poco conocimiento público de estos protocolos es que ellos no están normalizados y en su mayoría son protocolos propietarios; sin embargo, como en la industria petrolera y siderúrgica se utiliza una gran cantidad de estos protocolos en los sistemas de automatización y control de procesos, hemos creído necesario incluir la descripción de los protocolos industriales más utilizados y de las tendencias actuales hacia la normalización. Esto será materia del Capítulo V.

#### 4.1.1. Códigos de Transmisión

Para poder explicar los diferentes métodos de comunicación, es necesario conocer los códigos empleados para representar la información a transmitir. Por ejemplo, dentro de un computador o terminal cada carácter alfanumérico está representado por una combinación única de dígitos binarios de acuerdo con un código determinado, y los Datos o Información son transmitidos en un canal en forma de secuencias de dígitos binarios.

Para la transmisión de información sobre un canal digital, el UIT-T ha normalizado dos tipos de código. Uno es el llamado “Alfabeto N° 2 del UIT-T”, utilizado en sistemas de transmisión Arranque-Pare (sistemas asincrónicos) hasta 200 bps. Este es un código de cinco dígitos (32 caracteres) empleado en teletipo (TWX) y telex. Este fue el primer código de caracteres de tamaño fijo y se conoce también como Código Baudot, en honor del ingeniero francés Emile Baudot, un pionero en la transmisión telegráfica. En el Apéndice A se muestra este código en detalle.

En 1977, en sus Recomendaciones V.4 y T.50, el UIT-T establece y define el código “Alfabeto Internacional N° 5 del UIT-T”, conocido también como el Código ASCII (American Standard Code for Information Interchange); en la ISO este código se define en la Recomendación ISO.646. Este es un código de 7 dígitos para 128 caracteres alfanuméricos. En ASCII el dígito de menor peso (LSB) se designa como  $b_0$  y el dígito de más peso como  $b_6$  y en transmisión serie el dígito  $b_0$  se transmite de primero. Generalmente este código se extiende a 8 dígitos al agregársele un dígito adicional  $b_7$  de paridad para detección de error. Este es el código más utilizado en la transmisión de datos.

En la Fig. 4.1 se muestra el Código ASCII. Nótese la presencia de columnas numeradas de 0 a 7, y filas numeradas de 0 a F. Estas columnas y filas permiten expresar los códigos directamente en hexadecimal. Para representar cualquiera combinación en hexadecimal, primero se lee la columna y después la fila; en este caso los dígitos se agrupan de cuatro en cuatro. Por ejemplo, el carácter SYN se puede expresar en numeración binaria, hexadecimal y decimal, respectivamente, en la forma

SYN => 001 0110 Bin = 16 Hex = 22 Dec

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

Dígitos ↓	MSB 7	0	0	0	0	1	1	1	1
	6	0	0	1	1	0	0	1	1
	5	0	1	0	1	0	1	0	1
LSB		columna							
4 3 2 1	→	0	1	2	3	4	5	6	7
	fila ↓								
0 0 0 0	0	NUL	<b>DLE</b>	SP	0	@	P	\	p
0 0 0 1	1	<b>SOH</b>	DC1	!	1	A	Q	a	q
0 0 1 0	2	<b>STX</b>	DC2	“	2	B	R	b	r
0 0 1 1	3	<b>ETX</b>	DC3	#	3	C	S	c	s
0 1 0 0	4	<b>EOT</b>	DC4	\$	4	D	T	d	t
0 1 0 1	5	<b>ENQ</b>	<b>NAK</b>	%	5	E	U	e	u
0 1 1 0	6	<b>ACK</b>	<b>SYN</b>	&	6	F	V	f	v
0 1 1 1	7	BEL	<b>ETB</b>	‘	7	G	W	g	w
1 0 0 0	8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1 0 0 1	9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1 0 1 0	A	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1 0 1 1	B	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1 1 0 0	C	FF	FS	‘	<	L	\	l	:
1 1 0 1	D	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1 1 1 0	E	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1 1 1 1	F	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

Fig. 4.1. Código ASCII.

En algunos sistemas, sobre todo de procedencia norteamericana, se emplea un código de 8 dígitos desarrollado por la IBM; este código se conoce con el nombre de Código EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code), el cual mostramos en detalle en el Apéndice A. El Código EBCDIC es un código de caracteres alfanuméricos de 8 dígitos para un total de 256 caracteres alfanuméricos.

Los códigos ASCII y EBCDIC no son compatibles; por eso, cuando la transmisión se efectúa en ASCII y el sistema de procesamiento, por ejemplo computadoras IBM, trabaja en EBCDIC, es necesario utilizar convertidores ASCII/EBCDIC. Esta conversión se puede efectuar previamente en la unidad de control de la comunicación o mediante un programa dentro del mismo computador. Casi todos los terminales utilizan el código ASCII, de manera que la conversión a nivel de terminales no representa, en general, un problema.

#### 4.1.2. Modos de Operación Asíncrona y Síncrona

Cuando se transmite información sobre un canal digital se utiliza dos categorías o modos de operación: el modo de operación asíncrona y el modo de operación síncrona.

##### Operación Asíncrona

En el modo de operación asíncrona se transmite un carácter de código a la vez. Cada carácter de código incluye dígitos de arranque, paridad y parada, denominados “dígitos redundantes”. Estos dígitos redundantes indican al receptor el comienzo de

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

un carácter, dónde termina y un dato adicional (la paridad) para efectos de detección de error; todos los dígitos tienen la misma duración excepto el de parada cuya duración es variable (una, una y media o dos veces la duración de los otros) según la aplicación. El carácter de código contiene también de 5 a 8 dígitos de información; este campo de información permite entonces codificar la información en Baudot, ASCII o en EBCDIC. La longitud máxima del carácter de código es de 11 dígitos binarios.

En la Fig. 4.2 se muestra el formato de un carácter de código para operación asincrónica.

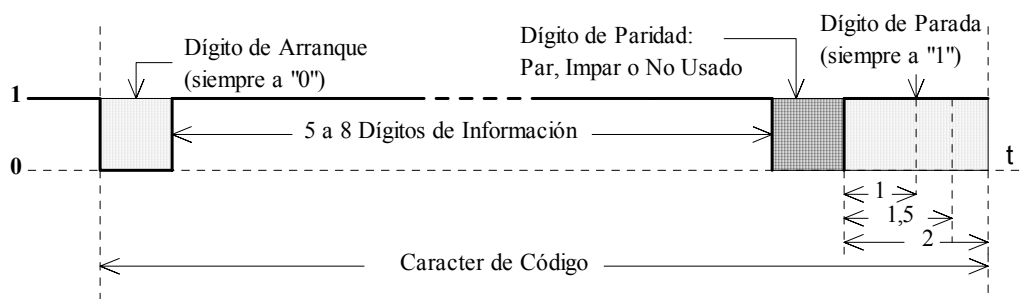


Fig. 4.2. Caracter de Código en Operación Asincrónica.

La transmisión asincrónica se utiliza muchas veces cuando por los terminales se transmite los caracteres uno a uno; la velocidad de transmisión de los octetos es variable. Por ejemplo, un terminal no inteligente puede que no tenga elementos de memoria; por consiguiente, cada vez que el operador oprime una tecla, el carácter correspondiente es transmitido por el sistema hasta un computador de procesamiento, como es el caso de los sistemas de reservación de pasajes. Como la mayoría de las personas escribe a velocidades que no pasan de 300 a 400 caracteres por minuto, lo que equivale a 5 a 7 caracteres por segundo ó 50 a 70 bps, esta velocidad es muy baja cuando la comparamos con la capacidad de la línea que puede ir de 600 a 2400 bps. En estos casos no se justifica sistemas más complicados como generalmente lo son los sistemas sincrónicos cuya velocidad de transmisión (caracteres/segundo) es constante.

El dígito de paridad es un medio para detectar si el carácter ha experimentado un error en la transmisión. En efecto, si el número de UNOS en el campo de información es cero o par, entonces en el dígito de paridad se coloca un CERO; pero si el número de UNOS es impar, entonces en el dígito de paridad se coloca un UNO. Esta es la llamada "paridad par". Si en la transmisión se produce algún error, es decir, si por efectos del ruido un UNO cambia a un CERO o viceversa, el receptor se dará cuenta del error pues al efectuar la prueba de paridad sobre el carácter recibido, el dígito de paridad calculado y el recibido serán diferentes; esto indica un error en la transmisión. En el Capítulo VI explicaremos con más detalle algunos métodos de corrección y detección de error.

La operación asincrónica se emplea bastante pues las interfaces ETD/ETCD son más sencillas y económicas, y es aplicada cuando los datos se transmiten a baja velocidad y a intervalos aleatorios. La velocidad de transmisión generalmente es hasta 2400 bps, pero

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

puede llegar hasta 19200 bps en líneas conmutadas y 38400 en líneas dedicadas. En general, la transmisión es en semidúplex.

### Operación Sincrónica

En aplicaciones donde se necesita altas velocidades de transmisión se utiliza el modo de operación sincrónica. En este modo de operación a los caracteres de código se les elimina los dígitos redundantes y los caracteres se agrupan en tramas o formatos precedidos y/o terminados por caracteres especiales de sincronización como, por ejemplo, el carácter ASCII SYN o un carácter de la forma 01111110 denominado “bandera”. Este método de transmisión es el más utilizado y se emplea para velocidades de 2400 bps en adelante, tanto en semidúplex como en full dúplex.

En la Fig. 4.3 se muestra el formato típico de un mensaje en modo sincrónico.

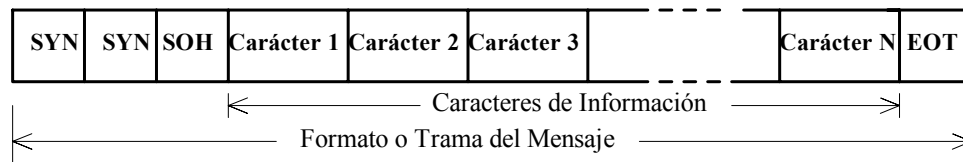


Fig. 4.3. Trama de un Mensaje en Operación Sincrónica.

Los caracteres SYN, SOH y EOT son caracteres ASCII de control, como veremos más adelante.

Las señales de sincronización establecen el ritmo o cadencia entre el transmisor y el receptor, de manera que ellos estén de acuerdo de que ocho dígitos u octeto, por ejemplo, constituyen un carácter. La velocidad de transmisión es constante. Este es el modo de transmisión utilizado en los protocolos de comunicación, como veremos más adelante.

#### ♣ Ejemplo 4.1

Vamos a representar la palabra AbQ3 mediante el Código ASCII (con el LSB a la izquierda, paridad par) tanto en transmisión asincrónica como en sincrónica.

Solución:

Transmisión asincrónica, paridad par

Los caracteres conservan los dígitos de arranque, paridad y pare

En ASCII: A => 01000001011; b => 001000111011;

Q => 010001011011; 3 => 01100110011

AbQ3 en Código ASCII => 0100000101100100011101101000101101101100110011

Transmisión sincrónica, sin dígitos redundantes

A => 1000001; b => 0100011; Q => 1000101; 3 => 1100110

AbQ3 en Código ASCII => 1000001010001110001011100110

♣

### ♣ Ejemplo 4.2

Vamos a comparar la velocidad neta de información en dos sistemas, uno asincrónico y otro sincrónico, para una misma velocidad de transmisión en el medio, por ejemplo,  $V_i = 9600$  bps.

La cantidad neta de información a transmitir es  $I_n = 1024$  bits

La velocidad neta de transmisión se puede definir mediante la expresión

$$V_{in} = \frac{\text{Cantidad de Información neta transmitida (bits)}}{\text{Tiempo Total de Transmisión (segundos)}} \text{ bps}$$

Operación Asincrónica:

Carácter de Código de un dígito de arranque, ocho de información y dos de pare. Entre carácter y carácter habrá un intervalo de tiempo (gap) igual a la duración de un dígito.

Operación Sincrónica:

La trama tiene la forma de la Fig. 4.3. No hay gaps entre caracteres.

Se pide:

- (a) La velocidad neta de información en Modo Asincrónico
- (b) La velocidad neta de información en Modo Sincrónico

Solución:

Modo Asincrónico

Como los caracteres tienen 8 bits de información neta cada uno, los 1024 bits cabrán en  $N$  caracteres, donde  $N = 1024/8 = 128$  caracteres.

Sea  $T_b$  la duración de un dígito y como la velocidad en el medio es  $V_i$ , entonces

$$T_b = 1/V_i = 1/9600.$$

La suma de los gaps de duración  $T_b$  dará un tiempo  $T_g = (N - 1)T_b$

$$\text{El tiempo total } T_A \text{ será igual a } T_A = 11N \cdot T_b + (N - 1)T_b = \frac{12N - 1}{V_i}$$

$T_A = 0,16$  seg. La velocidad neta de información en Modo Asincrónico será

$$V_{inA} = \frac{I_n}{T_A} = \frac{1024}{0,16} = 6400,17 \text{ bps}$$

Nótese que la velocidad neta de información es menor que la velocidad de transmisión en el medio.

Modo Sincrónico

Habrán  $N = 128$  caracteres de información más 4 caracteres redundantes (SYN, SYN, SOH y EOT).

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

El tiempo total será  $T_s = 11N \cdot T_b + 4 \times 11 \cdot T_b = \frac{11 \times 128 + 44}{9600} = 0,1513 \text{ seg}$

La velocidad neta de información será  $V_{ins} = \frac{I_n}{T_s} = 6770,25 \text{ bps}$

Nótese que la velocidad neta de información en modo asincrónico es menor que en modo sincrónico. ♣

#### 4.1.3. Operación Semidúplex (HDX), Fulldúplex (FDX) y Simplex (SX)

Como ya lo hemos señalado anteriormente, en operación semidúplex los datos se intercambian alternativamente entre la fuente (A) y el destino (B); la trayectoria de transmisión puede ser una línea de dos o cuatro conductores. Si la trayectoria es por radio, se utiliza una sola frecuencia.

Cuando se transmite en semidúplex en una línea de dos conductores, es necesario tener en cuenta el tiempo necesario para que el canal se estabilice antes de invertir el flujo de información. A fin de proteger al sistema contra los ecos producidos por una transmisión anterior, debe dejarse transcurrir un cierto tiempo en el ETC D que está recibiendo antes de empezar a transmitir. El lapso comprendido desde el momento que el transmisor de origen deja de transmitir y el momento en que el transmisor de destino se activa, se denomina “tiempo de silencio o tiempo de retorno (turn-around time)”. Si se utiliza una línea de cuatro conductores en operación semidúplex, no es necesario tomar el cuenta el tiempo de estabilización del canal, pero el flujo sigue siendo alterno: una vez de A a B por un par de conductores y otra vez de B a A por el otro par de conductores.

Con la operación Simplex (SX) la transmisión es en un solo sentido. La televisión comercial, la radiodifusión y la transmisión de un instrumento de medida son ejemplos de transmisión Simplex.

En la Fig. 4.4 se muestran estas tres formas de operación.

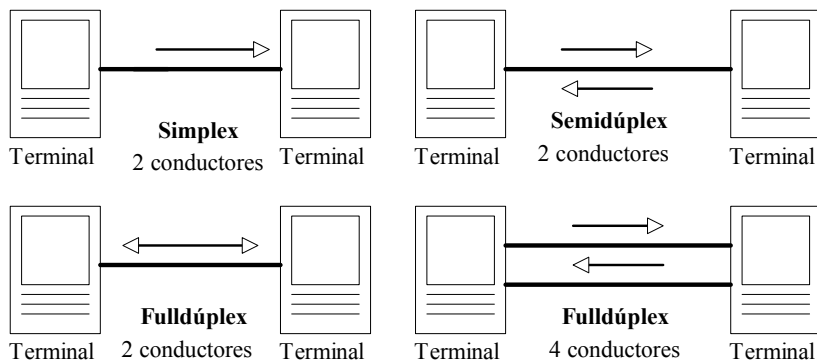


Fig. 4.4. Operación Simplex, Semidúplex y Fulldúplex

En las comunicaciones telefónicas con dos conductores, pueden aparecer ecos de la señal cada vez que la transmisión cambia de dirección. Estos ecos ocurren cuando los amplificadores de línea se conmutan y queda una cierta cantidad remanente de energía de la transmisión anterior. Si esta energía no se disipa totalmente, ella puede interferir en la inteligibilidad de los mensajes que se están recibiendo del lado opuesto. Este problema se puede resolver introduciendo en el receptor un período de retardo fijo desde el momento en que el ETCO pasa a ON (RTS se activa) hasta el momento en que se permite la transferencia de datos (CTS se activa). Este período permite que los ecos se disipen hasta un nivel con el cual no son ya un problema. Nótese que la energía de los ecos se almacena en las capacitancias parásitas de la línea de transmisión.

Aunque retardos pequeños son preferibles, ellos no deben ser tan cortos que puedan comprometer la calidad de la transmisión. Un buen punto de partida es establecer un retardo de 50 ms, pero se puede seleccionar otros valores basados en el conocimiento del sistema. Por ejemplo, en una transmisión a 1200 baudios sobre una línea privada o dedicada bajo 80 km, se puede establecer un retardo de 8 ms que puede producir resultados satisfactorios; para distancias mayores se toma desde 50 ms hasta 200 ms. En la red conmutada el retardo es generalmente de 200 ms. En trayectorias vía satélite de discado directo, el retardo propio de la trayectoria puede llegar a 600 ms; en este caso no hay problemas de estabilización del canal. En general, en los módems comerciales se puede variar el tiempo de retardo RTS/CTS según la aplicación.

En operación full dúplex el flujo de información es simultáneo en ambos sentidos. Si la línea es de cuatro conductores, dos conductores transmitirán en un sentido y los otros dos en sentido contrario; la frecuencia puede ser la misma. Si la línea es de dos conductores, entonces hay que hacer un multiplexamiento en frecuencia, es decir, en una dirección se transmite a una frecuencia o banda dada, mientras que en la otra dirección se transmite a una frecuencia o banda diferente; igualmente si la transmisión es por radio.

#### 4.1.4. Transmisión Serie y Paralelo

La información binaria se puede transmitir paralelamente o en serie. Por ejemplo, en la Fig. 4.5(a) se muestra cómo el grupo 0110 se transmite desde el punto A hasta el punto B en forma paralela. Obsérvese que cada dígito binario ( $b_0$  a  $b_3$ ) tiene su propia línea de transmisión. En consecuencia, los cuatro dígitos binarios se pueden transmitir simultáneamente durante el intervalo  $T_b$  de un impulso de reloj.

En la Fig. 4.5(b) se muestra la forma de transmisión serie por una sola línea de transmisión. Los dígitos binarios se transmiten uno detrás del otro requiriendo un tiempo de  $4T_b$  segundos para transmitir el grupo binario 0110.

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

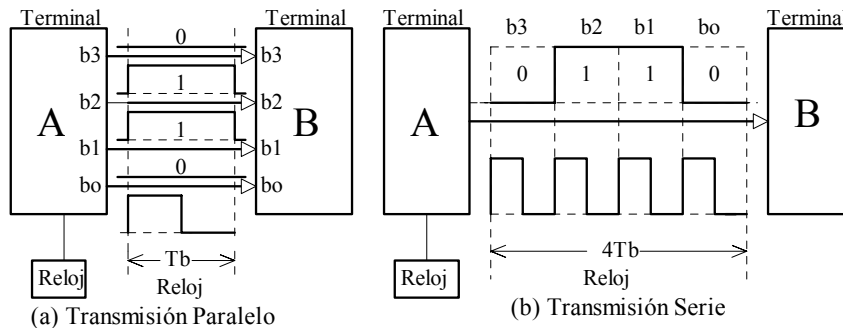


Fig. 4.5. Transmisión Paralelo y Serie

El intercambio o compromiso principal entre la transmisión paralela y la transmisión serie es la velocidad contra la simplicidad (costo). La transmisión paralela es mucho más veloz que la transmisión serie, pero es más costosa por el número de líneas que utiliza. Como regla general, la transmisión paralela se utiliza para transmisión a corta distancia (unos cuantos metros) o dentro de equipos, y la transmisión serie para la comunicación a largas distancias.

#### 4.1.5. Transmisión en Banda de Base y con Portadora Modulada

Se dice que la transmisión es en banda de base cuando la señal digital se transmite tal como se genera y sin ningún otro tipo de modulación o conversión que no sea digital. En la Fig. 4.6(a) se muestra esta forma de transmisión.

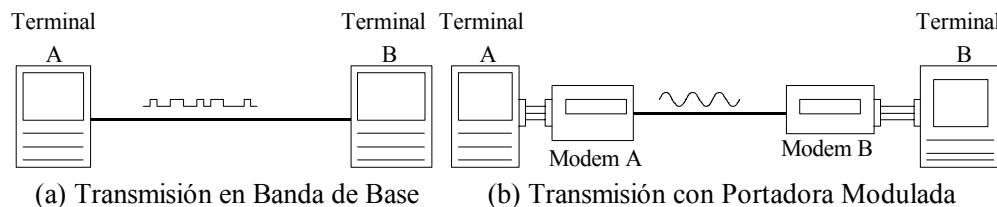


Fig. 4.6. Transmisión en Banda de Base y con Portadora Modulada

En la transmisión con portadora modulada, Fig. 4.6(b), la señal digital modula una señal sinusoidal de frecuencia compatible con el medio de transmisión. El módem es el dispositivo que realiza esta conversión.

La transmisión con portadora modulada se utiliza cuando las distancias son muy grandes o cuando las características del medio de transmisión no son apropiadas para la transmisión de señales discretas. Las técnicas de modulación binaria ASK, FSK y PSK son formas de transmisión con portadora modulada.

#### 4.1.6. Transmisión Punto a Punto y Multipunto

La configuración básica de la mayoría de los sistemas de transmisión de datos está conformada por un computador o procesador central con terminales en línea punto a punto o en multipunto, como se muestra en las configuraciones mostradas en la Fig. 4.7.

Esta situación introduce la noción de “Estación Primaria o Maestra” que controla los enlaces, y de “Estaciones Secundarias o Esclavas” que solamente responden a la Maestra. Una vez establecido el enlace, la Maestra puede iniciar el flujo de datos sea mediante “interrogación (polling)” o mediante “selección (selecting)”. El “polling” es un comando mediante el cual la Maestra le solicita a una o varias Esclavas que transmitan algún tipo de información. La “selección” es una notificación a una o varias Esclavas de que estén listas para recibir información.

En los sistemas de telemetría y telecontrol generalmente se opera en el denominado Modo de Respuesta Normal (NRM), en el cual todas las estaciones secundarias están subordinadas a la estación principal y no efectúan ninguna operación que no sea solicitada por la estación principal. Este es el Sistema Maestra/Esclava.

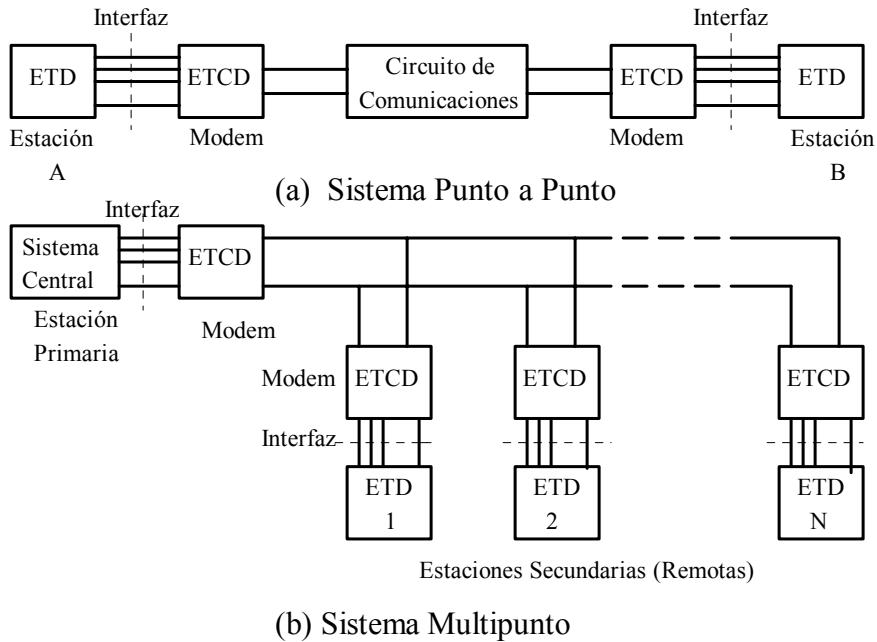
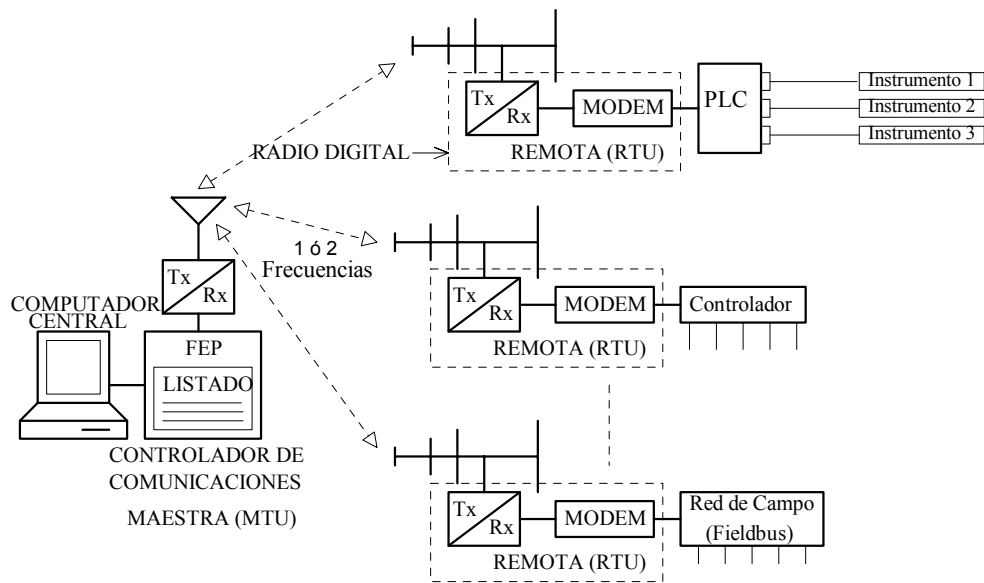
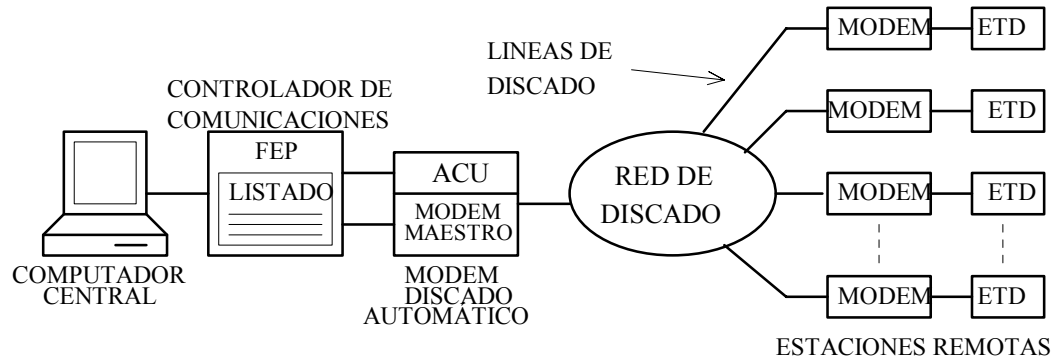


Fig. 4.7. Configuraciones Punto a Punto y Multipunto

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOCOLOS DE COMUNICACION



(c) Multipunto sobre Radio



(c) Multipunto sobre Líneas de Discado

Fig. 4.7(cont). Configuraciones Punto a Punto y Multipunto

## 4.1.7. Técnicas de Multiplexamiento

En las secciones anteriores se ha discutido varias de las técnicas de transmisión en términos de su habilidad para transportar información generada por una sola fuente. Pero en la práctica es necesario enviar simultáneamente una gran cantidad de mensajes diferentes por un medio de transmisión dado. El proceso de operación multicanal permite, mediante las técnicas llamadas de "multiplex" o "multiplexamiento", combinar en el transmisor los mensajes de varias fuentes de información, transmitirlos como un solo bloque y luego separarlos en el receptor. Como solamente se necesita un transmisor y un receptor, aunque mucho más complicados, una ventaja de la operación multicanal es la

disminución de equipo y, por supuesto, costo. La banda de frecuencias o intervalo de tiempo asignado a cada mensaje individual se denomina comúnmente “canal”.

Hay dos formas de multiplex que son de interés:

1. Multiplex por División de Frecuencia (Frequency-Division Multiplex, FDM)
2. Multiplex por División de Tiempo (Time-Division Multiplex, TDM)

El sistema FDM, el cual es directamente aplicable a señales continuas, en esencia consiste en colocar lado a lado, mediante modulación y sin solapamiento, los espectros de las señales mensaje individuales y formar así un espectro compuesto o señal de banda de base compuesta que se transmite; las señales se reparten el ancho de banda disponible del canal de transmisión. En la Fig. 4.8 se muestra el mecanismo del multiplexamiento por división de frecuencia (FDM).

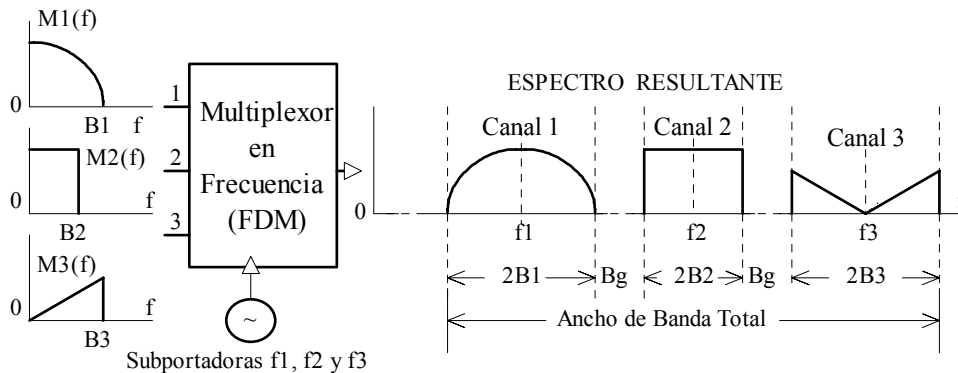


Fig. 4.8. Mecanismo de Multiplexamiento en Frecuencia (FDM).

El sistema TDM combina, en el tiempo y sin solapamiento, los valores de muestra, codificados o no, de los mensajes individuales; el tiempo es compartido por las señales individuales. La transmisión de cada muestra ocupa todo el ancho de banda del canal pero sólo una parte del tiempo, pudiéndose aprovechar el intervalo entre muestras para transmitir las muestras de otras señales mensaje. La separación de las señales individuales en el receptor se efectúa mediante circuitos de sincronización apropiados. En la Fig. 4.9 se muestra el mecanismo de multiplexamiento por división de tiempo.

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PROTOCOLOS DE COMUNICACION

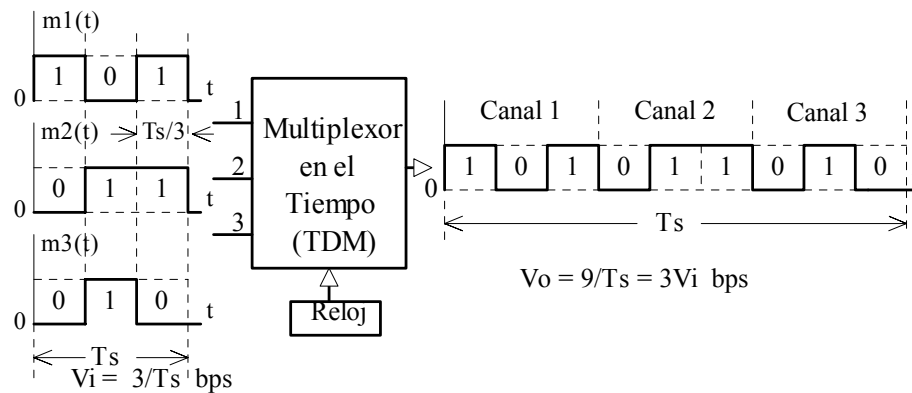


Fig. 4.9. Mecanismo de Multiplexamiento por División de Tiempo (TDM).

**4.2. PROTOCOLOS DE CONTROL A NIVEL DE ENLACE****4.2.1. Introducción**

El intercambio de información en un sistema de transmisión de datos exige una serie de pasos bien definidos o diálogo entre las estaciones transmisoras y receptoras. Estos pasos o fases implican procedimientos para

- La elaboración de un formato para el “encapsulamiento” de la información
- La determinación o selección de un enlace dado entre dos estaciones adyacentes
- La petición o demanda para transmisión o recepción de información
- La verificación de que la información recibida no contiene errores
- La repetición de una trama de información que ha sido recibida con errores
- El control del flujo de la información
- La transmisión transparente de la información
- La detección de Tiempo Cumplido (“time-out”)
- La finalización de la transmisión
- La supervisión, control y sincronización de las estaciones en el caso de transmisión sincrónica

El intercambio de información entre estaciones se efectúa mediante la ayuda de los Protocolos de Comunicación tanto en sistemas punto a punto como en sistemas multipunto, algunas de cuyas configuraciones se mostraron en la Fig. 4.7.

Los protocolos empleados en la transmisión de datos dependen (a) de si el control se efectúa mediante caracteres especiales de control, (b) por conteo de bytes o (c) si se hace dígito por dígito. Se distinguen entonces tres categorías de protocolos: Protocolos de Control por Caracteres (Character-Oriented Protocol), Protocolos de Control por Conteo de

Octetos o Bytes (Byte-Count Oriented Protocol) y Protocolos de Control por Dígitos (Bit-Oriented Protocol).

Además de esta clasificación básica, se puede encontrar otros tipos de protocolo. Por ejemplo, algunos protocolos tienen características especiales que les permiten una mayor eficiencia en enlaces por satélites; otros que son apropiados en operación multipunto y redes en lazo cerrado, etc. Los protocolos industriales entran dentro de estas clases; sin embargo, al examinarlos con más atención, se pueden clasificar dentro de cualquiera de las tres categorías mencionadas en el párrafo anterior.

A continuación vamos a describir brevemente estos tres tipos de protocolo. Una descripción detallada de estos protocolos está fuera del propósito de este libro. Para más detalles, ver el Libro Azul del UIT-T y la bibliografía especializada.

#### **4.2.2. Protocolos de Control por Caracteres**

##### **Protocolo de Control BSC**

Se ha desarrollado toda una variedad de protocolos de control por caracteres, pero el más conocido es el Protocolo BSC (Binary Synchronous Communications) desarrollado por la IBM; a este protocolo se le denomina también Protocolo BISYN. Este protocolo utiliza ciertos caracteres de control para delimitar los diferentes campos y para el control de sus funciones propias.

El protocolo BSC es un protocolo sincrónico que opera en HDX y requiere un reconocimiento para cada trama transmitida antes de enviarse la trama siguiente. Este protocolo está diseñado para trabajar en punto a punto o en multipunto con una sola estación de control o estación primaria; esta es la denominada operación Maestra-Esclava.

Los caracteres de control en el protocolo BSC son los siguientes por orden alfabético: ACK, DLE, ENQ, EOT, ETB, ETX, NAK, SOH, STX y SYN. Estos diez caracteres están definidos en los Códigos ASCII (Fig. 4.1), EBCDIC y en el Transcódigo de 6 Dígitos (Six Bit Transcode). La significación de cada uno de estos caracteres es la siguiente:

- ACK (Acknowledge). Reconocimiento positivo. Este carácter es transmitido por una estación cuando la información recibida es correcta o cuando se transmite una respuesta afirmativa.
- DLE (Data Link Escape). Carácter utilizado para la transmisión transparente de la información.
- ENQ (Enquiry). Petición. Carácter utilizado por la estación primaria para solicitar una respuesta desde una estación secundaria.
- EOT (End of Transmission). Fin de transmisión. Este carácter indica la finalización de la transmisión. Generalmente se transmite al final de la última trama de una serie.
- ETB (End of Transmission Block). Fin de la transmisión de un bloque o trama de información. Indica también que hay más tramas para transmitir.

IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

ETX (End of Text). Fin de texto. Este carácter se coloca al final del campo “Texto” que comenzó con STX.

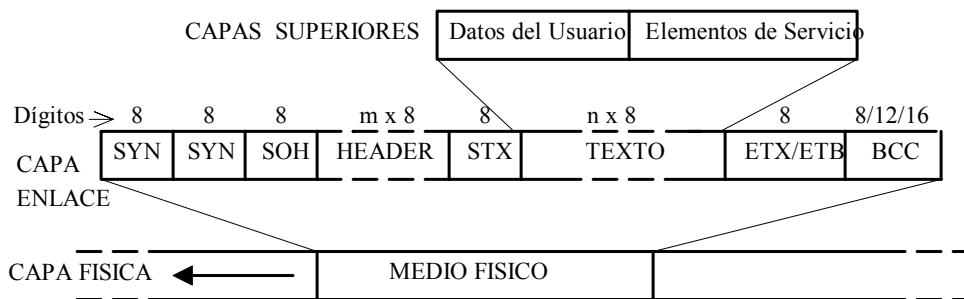
NAK (Negative Acknowledge). Reconocimiento negativo. Este carácter es transmitido por una estación para indicar que la información recibida está en error o cuando se transmite una respuesta negativa.

SOH (Start of Heading). Comienzo de un “membrete” o “encabezado” (“header”).

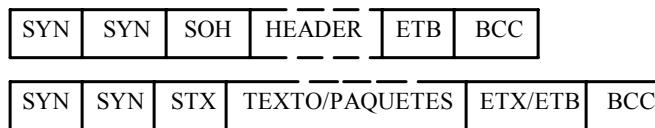
STX (Start of Text). Comienzo de Texto. Este carácter precede al campo “Texto” e indica también la terminación del encabezado o “header”.

SYN (Synchronous Idle). Carácter de Sincronización. Se transmite series de caracteres SYN y la sincronización se considera completa cuando se detecta por lo menos dos caracteres SYN consecutivos. Los caracteres SYN siempre se transmiten en pares, de modo que si sólo se recibe uno, se ignorará; la probabilidad de que dos caracteres SYN falsos ocurran consecutivamente es remota.

El formato del protocolo BSC se muestra en la Fig. 4.10. Cada una de las partes del formato se denomina comúnmente “campo”.



(a) Formato General del Protocolo BSC, Operación HDX, Sincrónico.



(b) Tramas Típicas de Información



(c) Trama de Control o Supervisión

Fig. 4.10. Formatos del Protocolo BSC

Para la sincronización de los relojes entre las estaciones transmisora y receptora, al principio de cada trama se transmite secuencias de caracteres SYN y la sincronización se considera completa cuando la estación receptora ha reconocido por lo menos dos caracteres SYN consecutivos.

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

El carácter de control SOH indica el comienzo de un encabezado o membrete (“header”) el cual contiene información para iniciar los procedimientos de intercambio. Por ejemplo, direcciones, instrucciones, procesamiento de texto, etc., necesarios para iniciar el intercambio de información; el número de caracteres u octetos del “Header” es variable, depende de la aplicación y tanto el SOH como el “Header” se pueden omitir si no son necesarios en una transmisión dada. Generalmente ellos constituyen la primera trama de toda una serie de un mismo mensaje.

En el campo Texto va la información que viene de las capas superiores. El número de caracteres en este campo también es variable, pero comúnmente el número es de 256 caracteres.

El campo BCC (Block Check Character) que puede contener 8, 12 o 16 dígitos se emplea para la verificación de error. En el transmisor se efectúa una operación con un algoritmo de cálculo denominado CRC (que veremos en el Capítulo VII) con los datos desde SOH hasta ETX/ETB. El resultado de esta operación se coloca en el campo BCC y se transmite. En el receptor se efectúa la misma operación y el resultado de esa operación se compara con la cantidad que va en el BCC. Si esas cantidades son iguales, se considera que no hubo error y se responde con un ACK; en caso contrario, se responde con un NAK para solicitar la retransmisión de la trama.

Para entender mejor cómo opera el protocolo, vamos a explicar la forma de transmisión de dos secuencias de datos: una sin error y una con errores, Fig. 4.11 y 4.12.

Consideremos un sistema multipunto, y sea la Fig. 4.11. El punto de partida en el intercambio comienza cuando la Estación Primaria A inicia el diálogo con un “Pedido de Transmisión o de Recepción” de la forma [SYN][“DIRECCION”][ENQ], donde el campo “DIRECCION” es simplemente el código de una estación secundaria determinada B y el modo de intercambio: “Pedido de Transmisión (POLLING), Fig. 4.11(a), o “Pedido de Recepción (SELECTING)”, Fig. 4.11(b). Si en modo POLLING la estación B tiene información para transferir, contesta con [SYN][STX][“TEXTO”][ETB][BCC]. El campo “Texto” es simplemente la información a transferir solicitada mientras que el campo BCC es el campo utilizado para la detección y recuperación de errores.

El campo que constituye el “Texto” puede contener más de 600 caracteres aunque normalmente está limitado a 256 caracteres. SOH y “Header” pueden transmitirse en la primera trama y omitirse en el resto. Si la información recibida de la estación B es correcta, la estación A la confirma mediante un reconocimiento positivo de la forma [SYN][ACK]; en muchos casos la confirmación se efectúa con ACK0 o ACK1, donde 0 indica que el número de la trama recibida es par, mientras 1 indica que es impar, lo cual ayuda en la detección de errores en las secuencias correspondientes. Las secuencias ACK0 y ACK1 constan de 16 dígitos y en el Código ASCII se transmiten como DLE0 o DLE1, mientras que en el Código EBCDIC se transmiten como DLE70 y DLE61 (70 y 61 son números hexadecimales).

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

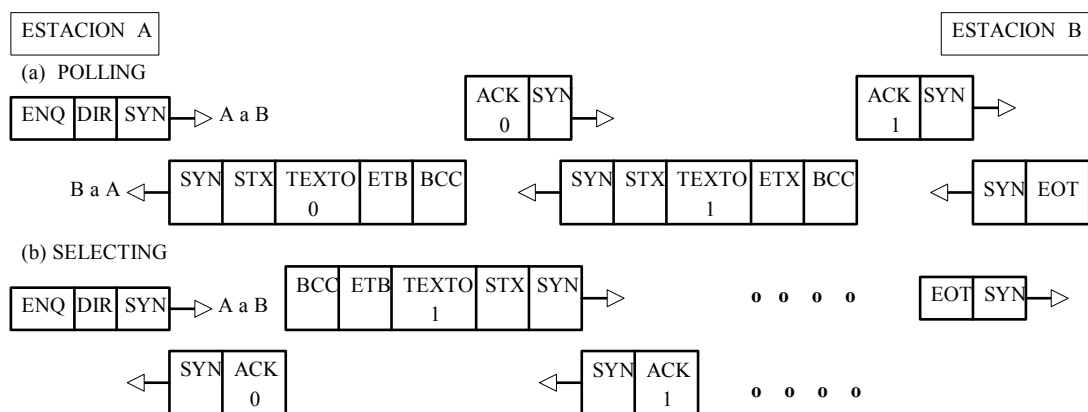


Fig. 4.11. Protocolo BSC. POLLING y SELECTING

La última trama o bloque de una transmisión lleva el carácter de control ETX dando por terminada la transmisión. La función de ETX es similar a la de ETB pero al mismo tiempo indica que no hay más bloques para transmitir. Después del reconocimiento positivo correspondiente al último bloque, la Estación B finaliza el intercambio con **[SYN][EOT]**. El carácter EOT se puede utilizar también para responder “nada para transmitir” a una petición de transmisión o para participar una interrupción durante el transcurso de una transmisión.

Veamos ahora el caso cuando la Estación Primaria A quiere enviar información a alguna Estación Secundaria B, Fig. 4.11(b). La Estación Primaria envía un “Pedido de Recepción (SELECTING)” en la forma **[SYN][“DIRECCION”][ENQ]**. En el campo “DIRECCION” está indicado el código de la Estación Secundaria B que debe recibir la información y el modo de transmisión (Selecting). Si la Estación B no está lista para recibir información, ella responde con **[SYN][NAK]**, una respuesta negativa. Si ella está lista responde positivamente con **[SYN][ACK0]**. La Estación A envía entonces una secuencia de la forma **[SYN][STX][TEXTO 1][ETB][BCC]** y así sucesivamente y termina la transmisión con **[SYN][EOT]**.

Veamos ahora el caso de dos situaciones especiales, Fig. 4.12: una cuando hay bloques en error, y otra cuando la estación llamada no responde pasado un tiempo dado denominado “Tiempo Cumplido (Time-out)”.

Cuando se recibe un bloque en error, Fig. 4.12(a), la estación receptora responde con **[SYN][NAK]**. En este caso la estación transmisora repite el bloque en error.

Cuando después de un determinado tiempo (generalmente 3 segundos) no hay ningún tipo de reconocimiento (ACK o NAK), entonces se produce una alarma de “tiempo cumplido” (Time-out), Fig. 4.12(b). Después del “time-out”, la estación transmisora retransmite pedidos de reconocimiento de la forma **[SYN][ENQ]**. Si la situación se ha normalizado, la estación receptora responde con **[SYN][ACK 0]** y el intercambio de

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

información se restablece. Si no hay respuesta después de varias solicitudes, la estación transmisora aborta la transmisión.

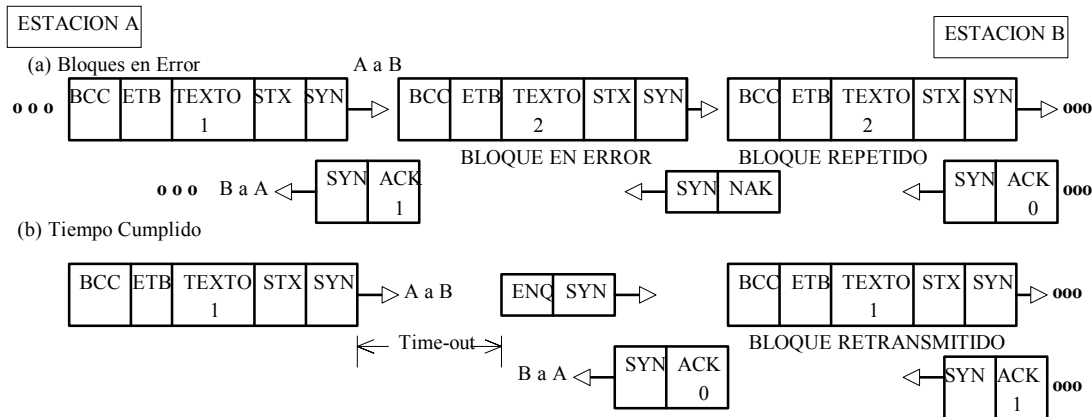


Fig. 4.12. Protocolo BSC. Manejo de Bloques en Error y Tiempo Cumplido.

La información contenida en los caracteres de control se puede extender mediante el carácter de control DLE, de tal manera que la información de control tendrá 2 octetos (16 dígitos). Por ejemplo, WACK o WABT, que son caracteres de espera, se pueden formar como una combinación de dos caracteres, incluyendo DLE y “;”. En consecuencia, WACK o WABT pueden significar que el bloque recién recibido no contiene errores pero que la estación receptora está temporalmente imposibilitada para recibir más datos. La respuesta usual de la estación transmisora es ENQ y la estación receptora sigue respondiendo con WACK hasta estar lista para recibir. Asimismo, en algunas aplicaciones los reconocimientos ACK0 y ACK1 se expresan en la forma DLE0 y DLE1, respectivamente.

Pero la aplicación principal del carácter de control DLE es en el control de “datos transparentes”. Se dice que un campo (texto, header o BCC) contiene “datos transparentes” cuando alguno de los caracteres que lo conforman tiene el mismo código que alguno de los caracteres de control. Esta situación se presenta cuando la información a transmitir es, por ejemplo, la salida de un instrumento de medida. En este caso es necesario que la lógica de reconocimiento de caracteres se desconecte, porque si aparece, por ejemplo, un carácter con el mismo código que ETX, el receptor lo tomará como tal creándose la correspondiente confusión. La desconexión de la lógica de reconocimiento se efectúa insertando antes de cualquier carácter de control, excepto los SYN, caracteres DLE. Se inserta también caracteres DLE cuando dentro de los campos “header” y “Texto” aparece algún carácter de control. Si aparece DLE la operación de transparencia quedará en la forma DLE DLE.

Algunas veces las tramas son precedidas y terminadas con caracteres especiales denominados PAD. El PAD al comienzo de una trama tiene como código 55H mientras que el código del PAD de fin de trama es FFH. El propósito de los PAD es el de facilitar la sincronización de los módems; en efecto, el PAD de entrada es simplemente una secuencia de UNOS y CEROS alternados cuyas transiciones son necesarias para la recuperación del reloj en el módem de recepción. El PAD de fin de trama es una secuencia de UNOS que se utiliza para separar las tramas dando tiempo para que la estación receptora se reinicialice.

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

La desventaja principal del Protocolo BSC es su lentitud pues trabaja en operación semidúplex y cada bloque debe ser reconocido (ACK0 o ACK1) por el receptor antes de proceder a la transmisión del bloque siguiente de una serie. Este es un procedimiento lento cuando se quiere transmitir a grandes velocidades o cuando los retardos de transmisión son grandes, como es el caso de la transmisión por satélites. Para sistemas que trabajan en full dúplex el protocolo BSC no se emplea utilizándose algunos de los protocolos que veremos más adelante.

**Resumen de las Características del Protocolo BSC**

## Características

- Control por Caracteres
- Transmisión HDX Sincrónica
- Formato del Carácter: ASCII Sincrónico
- Velocidades: 300 a 20 kbps
- Modo de Respuesta Normal (NRM)
- Interfaz de preferencia : RS-232C
- Transparencia mediante inserción de caracteres DLE

**♣ Ejemplo 4.3**

Consideremos un enlace de radio punto a punto como el mostrado en la Fig. 4.13 Este sistema trabaja en Operación Maestra/Esclava.

La velocidad de transmisión en el sistema es de  $V_i$  bps.

Características del Transceptor (Tx/Rx): tiempo de alzada =  $t_a$  seg

tiempo de preámbulo =  $t_p$  seg

Cualquier otro parámetro de tiempo, por ejemplo, retardo RTS/CTS, ON/OFF =  $t_x$  seg

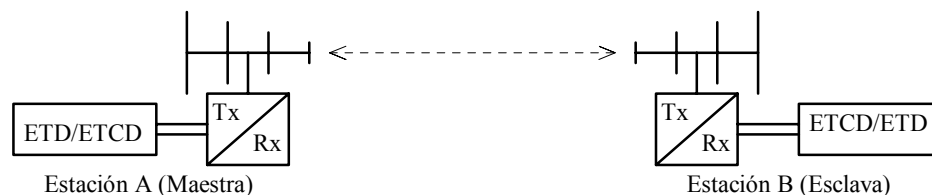


Fig. 4.13. Enlace de Radio Punto a Punto.

(Todos estos tiempos vienen dados por el fabricante del transmisor y del módem)

Tiempo de propagación en la atmósfera  $t_c = 4$  a  $10 \mu\text{s}/\text{km}$ . Si la distancia es menor que 1000 km, se puede despreciar el tiempo de propagación.

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

Tiempo de procesamiento de la respuesta en el receptor =  $t_{pr}$  seg

El número de octetos a nivel de Capa Enlace del Bloque de Interrogación es de X octetos, mientras que para el Bloque de Respuesta es de Y octetos.

- (a) Determine el Ciclo de Interrogación/Respuesta del Enlace, es decir, el tiempo entre el instante en que el ETD A inicia una interrogación y el instante en que termina de recibir la respuesta desde el ETD B.
- (b) Sea un sistema punto a punto en una instalación industrial. El protocolo utilizado es el BSC, donde, a nivel de Capa Enlace, los bloques tienen la siguiente configuración, Fig. 4.14.

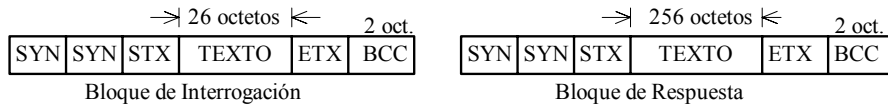


Fig. 4.14. Bloques de Interrogación y Respuesta.

$t_a = 60$  ms;  $t_p = 70$  ms;  $t_c$  despreciable;  $t_x = 60$  ms;  $t_{pr} = 120$  ms

Se desea que el Ciclo de Interrogación/Respuesta esté entre 0,9 seg y 1,1 seg.

Determine la velocidad de transmisión apropiada y seleccione un módem UIT-T.

Solución:

(a) Tiempo de Interrogación:

$$X \text{ octetos a } V_i \text{ bps} \rightarrow T_x = \frac{8X}{V_i}$$

$$\text{Tiempo de alza, ..., etc} \rightarrow t_{i2} = t_a + t_p + t_c + t_x$$

$$\text{Tiempo de Interrogación} \rightarrow T_I = t_{i1} + t_{i2} = T_x + t_a + t_p + t_c + t_x$$

Tiempo de Respuesta:

$$Y \text{ octetos a } V_i \text{ bps} \rightarrow T_Y = \frac{8Y}{V_i}$$

$$\text{Tiempo de alza, ....., tiempo de procesamiento} \rightarrow t_{r2} = t_a + t_p + t_c + t_x + t_{pr}$$

$$\text{Tiempo de Respuesta} \rightarrow T_R = t_{r1} + t_{r2} = T_Y + t_a + t_p + t_c + t_x + t_{pr}$$

La duración T del Ciclo de Interrogación /Respuesta en un enlace punto a punto es

$$T = T_I + T_R = \frac{8}{V_i}(X + Y) + 2(t_a + t_p + t_c + t_x) + t_{pr} \quad (A)$$

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

En la expresión (A) hagamos  $t_r = 2(t_a + t_p + t_c + t_x) + t_{pr}$ , donde  $t_r$  es el tiempo total de retardo en el enlace. La expresión (A) queda en la forma

$$T = \frac{8}{V_i}(X + Y) + t_r$$

y la velocidad de transmisión  $V_i$ , 
$$V_i = \frac{8(X + Y)}{T - t_r}$$

Como  $V_i$  es una magnitud positiva ( $V_i > 0$ ), debe verificarse entonces que  $T > t_r$ , es decir, el ciclo de interrogación/respuesta deberá ser siempre mayor que el retardo total en el enlace. De hecho, en la práctica es común que  $T \gg t_r$ .

El intercambio entre la Estación A (Maestra) y la Estación B (Esclava o Remota) se puede visualizar mucho mejor mediante un diagrama de tiempo como el de la Fig. 4.15.

En esta figura,

$$t_o = t_a + t_p + t_c + t_x$$

$T_x$  y  $T_y$  son los tiempos de transmisión de los bloques X y Y, respectivamente.

Esta figura nos permite determinar la velocidad neta de transmisión. Sea  $V_{in}$  esta velocidad.

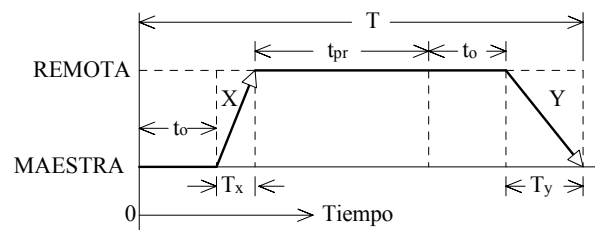


Fig. 4.15. Diagrama de Tiempo en un enlace

Por definición,

$$V_{in} = \frac{8(X + Y)}{T} \text{ bps}$$

La velocidad neta de transmisión siempre es menor que la velocidad de transmisión en el canal.

Nótese que si el sistema fuera multipunto con  $N$  estaciones secundarias, el período de Interrogación/Respuesta de una estación secundaria sería

$$T_T = NT = N \left[ \frac{8}{V_i}(X + Y) + 2(t_a + t_p + t_c + t_x) + t_{pr} \right] \quad (B)$$

Esta fórmula implica que todas las remotas son iguales y están a la misma distancia. En un caso práctico hay que tomar las características propias de cada remota y su distancia correspondiente; sin embargo, si la distancia es menor de 1000 km, se desprecia el tiempo de propagación.

(b) Vemos que  $X = 32$  octetos;  $Y = 262$  octetos;

De la ecuación (A) de la parte (a),

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

Para  $T = 0,9$  seg,

$$V_i = \frac{8(32 + 262)}{0,9 - 2(60 + 70 + 60)10^{-3} - 120 \times 10^{-3}} = 5880 \text{ bps}$$

Para  $T = 1,1$  seg,

$$V_i = \frac{8(32 + 262)}{1,1 - 2(60 + 70 + 60)10^{-3} - 120 \times 10^{-3}} = 3920 \text{ bps}$$

Se puede seleccionar el Módem V.32 QAM que permite operar también a 4800 bps. En este caso el ciclo de interrogación/respuesta es  $T = 0,99$  seg, lo cual está dentro de lo especificado. La velocidad neta de transmisión con el módem de 4800 bps será

$$V_{in} = 8(32+262)/0,99 = 2376 \text{ bps}$$

Si se considera que esta velocidad no es apropiada, no queda más remedio que utilizar un módem de más alta velocidad. Por ejemplo, si se utiliza el Módem V.32 pero a 9600 bps, de la expresión (A) el tiempo  $T$  será  $T = 0,745$  seg y la velocidad neta será

$$V_{in} = 3157 \text{ bps.}$$

En un caso práctico el diseñador del sistema debe establecer la solución más apropiada según la aplicación. ♣

#### ♣ Ejemplo 4.4

Sea un sistema en polling multipunto con una maestra  $M$  y cuatro esclavas iguales  $A$ ,  $B$ ,  $C$  y  $D$ . Los bloques de interrogación son de 64 octetos y los de respuesta de 1024 octetos. El tiempo total de (alzada + preámbulo + etc.) es de 50 ms y el tiempo de procesamiento de la respuesta es de 100 ms. La distancia máxima es menor que 1000 km. La velocidad de transmisión es de 9600 bps. El polling se efectúa en la forma siguiente:

Se interroga  $A$  y se espera la respuesta. Se interroga  $B$  y se espera la respuesta. Se vuelve a interrogar  $A$  y se espera la respuesta. Se interroga  $C$  y se espera la respuesta. Se vuelve a interrogar  $A$  y se espera la respuesta. Se interroga  $D$  y se espera la respuesta. Este proceso se repite cíclicamente.

Determine los períodos de interrogación de las remotas  $A$ ,  $B$ ,  $C$  y  $D$ .

Solución:

$$X = 64 \text{ octetos}; Y = 1024 \text{ octetos}; t_r = 50 \text{ ms}; t_{pr} = 100 \text{ ms}; V_i = 9600 \text{ bps.}$$

Se desprecia el tiempo de propagación.

Como las remotas son iguales, el ciclo de interrogación/respuesta individual es el mismo. Sea  $T_o$  su duración. De la expresión (A) del Ejemplo 3 anterior,

$$T_o = \frac{8(64 + 1024)}{9600} + 2 \times 50 \times 10^{-3} + 100 \times 10^{-3} = 1,107 \text{ seg}$$

IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

En el diagrama de tiempo, Fig. 4.16, se muestra la forma como se efectúa el polling.

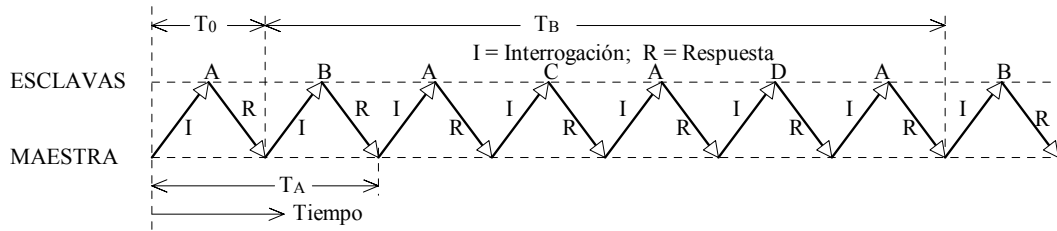


Fig. 4.16. Diagrama de Tiempo de los Enlaces

El período de las remotas B, C y D es el mismo. Entonces, del diagrama de tiempo,

Período de la Estación A:  $T_A = 2 T_0 = 2,213 \text{ seg}$

Período de las Estaciones B, C y D:  $T_B = T_C = T_D = 6T_0 = 6,64 \text{ seg.}$  ♣

♣ Ejemplo 4.5

En la memoria de una Esclava hay 20480 bits de información que deben ser transmitidos a una Maestra para efectos de control y supervisión de un proceso. El sistema es asincrónico y utiliza caracteres EBCDIC con un dígito de arranque y uno de pare. La transmisión se efectúa por conductores metálicos con Módems V.22bis.

El intercambio se inicia cuando la Maestra envía 10 caracteres en polling. La Esclava procesa esta información durante 100 ms y responde con un bloque que contiene 264 caracteres de los cuales 256 son caracteres de información neta. La Maestra recibe esta información y responde instantáneamente con un ACK de tres caracteres. Al recibir este ACK la Esclava espera 100 ms para transmitir otro bloque de 264 caracteres. La Maestra contesta con un ACK y así sucesivamente hasta que se agota la memoria. El intercambio termina cuando, agotada la memoria, la esclava responde con un EOT de tres caracteres al ACK recibido desde la Maestra. Determine el tiempo necesario para transmitir todo el contenido de la memoria y la velocidad neta de transmisión.

Solución:

El intercambio se puede caracterizar mediante un diagrama de tiempo como el de la Fig. 4.17. No se muestran los tiempos de overhead (alzada, preámbulo, etc.)

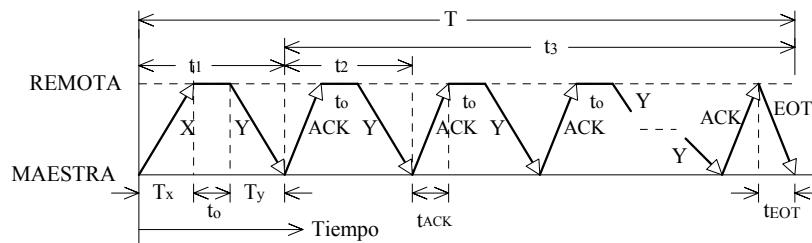


Fig. 4.17. Diagrama de Tiempo del Enlace

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

Cada carácter contiene 8 dígitos de información (en EBCDIC) y 2 dígitos redundantes para un total de 10 dígitos por carácter

Sea  $X = 10 \rightarrow$  caracteres de interrogación;  $Y = 264 \rightarrow$  caracteres de respuesta

$T_x = 10X/V_i$  duración de X;  $T_y = 10Y/V_i$  duración de Y

$t_o =$  tiempo de espera en la Esclava;  $t_{ACK} = 10x3/V_i$  duración del ACK

$t_{EOT} = t_{ACK}$

El Módem V.22bis transmite a 2400 bps.

Sea N el número de bloques de respuesta necesarios para transmitir todo el contenido de la memoria que es de  $C_m = 20480$  bits . Entonces, de la Fig. 4.17 podemos ver que

$$t_1 = T_x + t_o + T_y ; \quad t_2 = t_{ACK} + t_o + T_y ; \quad t_3 = (N-1)t_2 + t_{ACK} + t_{EOT}$$

Asimismo, como cada bloque contiene 256 caracteres de información neta y cada carácter 8 bits de información, se tiene que

$$C_m = 20480 = 256xNx8, \text{ de donde } N = 10 \text{ bloques Y}$$

$$\text{Tiempo Total: } T = t_1 + t_3 = T_x + t_o + T_y + (N-1)(t_{ACK} + t_o + T_y) + t_{ACK} + t_{EOT}$$

$$T = T_x + N(t_{ACK} + t_o + T_y) + t_{EOT}$$

Reemplazando valores numéricos,

$$T = 12,179 \text{ seg}$$

El contenido de la memoria se transmite en 12,179 segundos. La velocidad neta de transmisión de información en el enlace es

$$V_{in} = \frac{C_m}{T} = \frac{20480}{12,179} = 1681 \text{ bps}$$

Nótese que la velocidad neta de transmisión es menor que la velocidad de transmisión del módem V.22bis. ♣

♣ **Ejemplo 4.6**

Sea un sistema digital que utiliza el Protocolo BSC.

- En la Estación Maestra el bloque de información que viene de la Capa Red consta de 1024 dígitos y en la Capa Enlace se le agrega un Header de 48 dígitos, siendo el BCC de 16 dígitos y la transmisión se efectúa con un Módem UIT-T V.22. ¿ En cuánto tiempo se transmite la trama?
- En la práctica hay que tomar en cuenta los tiempos de retardo ya vistos. Si tomamos los mismos valores dados en el Ejemplo 4.4 y que el bloque de respuesta no contiene un Header, determine el ciclo de Interrogación/Respuesta utilizando el mismo Módem V.22 de la parte (a).

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

- (c) La información que viene de la Capa Red proviene de un instrumento de medida. Esta información tiene la forma [RS - XTE - GOT - SOH - HOS - ETX - DLE - CTE] (Cada uno de estos términos representa un carácter ASCII). Asimismo, en la Capa Enlace se le agrega un Header de la forma [QR - RST - NAK - DEL - OT - ETH].

Muestre la trama transmitida con transparencia de datos.

- (d) Para la trama de la parte (c), con los mismo valores dados en el Ejemplo 4.4, determine el tiempo de transmisión con o sin transparencia.

Solución:

- (a) La trama a nivel de Capa Enlace tiene la forma

[SYN][SYN][SOH][HEADER][STX][TEXTO][ETX][BCC]

donde el Header contiene 48 dígitos y el Texto 1024 dígitos, para un total de 1128 dígitos. Como el sistema es binario, cada dígito contiene un bit de información, y la información total será  $I = 1128$  bits.

También, por definición,  $V_i = \frac{I}{T}$  bps .

El Módem V.22 transmite a una velocidad de 1200 bps, de modo que el tiempo de transmisión  $T$  de la trama BSC será:

$$T = \frac{I}{V_i} = \frac{1128}{1200} = 0,94 \text{ seg} .$$

- (b)  $t_r = 50$  ms;  $t_{pr} = 100$  ms;  $V_i = 1200$  bps.

En el Transmisor: [SYN][SYN][SOH][HEADER][ STX][TEXTO][ETX][ BCC]

En el Receptor: [SYN][SYN ][ STX][TEXTO][ETX][ BCC]

Entonces,  $X = 141$  octetos;  $Y = 134$  octetos. De la expresión (A) del Ejemplo 4.3,

$$T = \frac{8(141+134)}{1200} + 2 \times 50 \times 10^{-3} + 100 \times 10^{-3} = 2,03 \text{ seg}$$

Nótese que este valor es más del doble que el obtenido en la parte (a), aún cuando el bloque de respuesta es más pequeño. En la práctica industrial hay que tener en cuenta todos estos aspectos pues se pueden producir retardos inadmisibles y la velocidad neta de transmisión puede ser excesivamente pequeña.

- (c) Recordemos el algoritmo para el MODO TRANSPARENTE BSC:

1. Se inserta un carácter DLE delante de cada carácter de control válido (excepto SYN) presente en la Trama BSC.
2. Si un carácter DLE aparece dentro del Header o dentro del Texto, se inserta delante de él otro DLE, quedando en la forma DLE DLE.

Nota: los caracteres DLE insertados se mostrarán en **negrita**.

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

Texto original: [RS – XTE – GOT – DLE – SOH – HOS - ETX – DLE - CTE]

Texto Transparente: [RS – XTE – GOT – **DLE** - DLE – **DLE** - SOH – HOS – **DLE** - ETX – **DLE** -DLE - CTE]

Header Original: [QR – RST – NAK – DLE – OT – ETH]

Header Transparente: [QR – RST – **DLE** - NAK – **DLE** - DLE – OT – ETH]

La Trama BSC Transparente transmitida tendrá la forma:

[SYN][SYN][**DLE**][SOH][HEADER TRANSP.][**DLE**][ STX][TEXTO TRANSP.][**DLE**][ETX][ BCC]

(d) La trama BSC original contiene 22 octetos (176 dígitos) y su tiempo de transmisión será

$$T = \frac{8 \times 22}{1200} + 2 \times 50 \times 10^{-3} + 100 \times 10^{-3} = 1,467 \times 10^{-3} \text{ s} = 1,467 \text{ milisegundos}$$

A la Trama BSC se le han agregado nueve octetos (caracteres DEL) para efectos de transparencia. La Trama BSC Transparente contendrá ahora 31 octetos (248 dígitos) y su tiempo de transmisión será

$$T' = \frac{8 \times 31}{1200} + 2 \times 50 \times 10^{-3} + 100 \times 10^{-3} = 2,067 \text{ milisegundos}$$

Nótese cómo ha aumentado el tiempo de transmisión. Esta es una de las desventajas del Protocolo BSC, sobre todo cuando la transmisión es a larga distancia. ♣

#### 4.2.3. Protocolos XMODEM y YMODEM

Una aplicación muy corriente en el intercambio de información entre computadoras es el de la transferencia de archivos, habiéndose desarrollado toda una serie de protocolos para este solo objetivo.

Durante la transferencia de un archivo suele ocurrir errores los cuales son detectados y corregidos (mediante retransmisión de los bloques en error) automáticamente por los “Protocolos de Transferencia de Archivos (File Transfer Protocol, FTP)”. Los FTP proveen detección y corrección de errores solamente durante la transferencia de archivos, a diferencia de los protocolos de control de error, por ejemplo el V.42, que actúan todo el tiempo. Algunos FTP han sido desarrollados para transferir archivos sin efectuar corrección de errores, con lo cual se elimina la redundancia aumentándose la velocidad de transferencia. En la práctica se encuentra varios FTP, pero aquí presentaremos solamente dos de los más utilizados.

##### Protocolo XMODEM

El protocolo XMODEM es un protocolo de transferencia de archivos (FTP), desarrollado en 1977, que ha sido instrumentado en muchos de los programas de transferencia de archivos en los sistemas BBS (Bulletin Board Service). En la Fig. 4.18 se muestra la forma básica de la Capa Enlace del Protocolo XMODEM.

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION



Fig. 4.18. Formato del Protocolo XMODEM.

La función de cada uno de los campos de este formato es la siguiente:

**SOH.** Es un carácter de control ASCII que indica el comienzo de la trama.

**NUMERO DE BLOQUE.** En este campo va el número, en modulo 256, del bloque que se está transmitiendo; va desde el 1 hasta el 255.

**COMPLEMENTO.** En este campo va el “Complemento a Uno” del número de bloque del campo anterior. Este valor se obtiene restando de 255 el número de bloque. Su objetivo es la detección de errores en los campos NUMERO DE BLOQUE y COMPLEMENTO.

**INFORMACION.** La información que hay que transmitir va en este campo. En el protocolo original contenía 128 octetos, pero en la nueva versión, denominada XMODEM-K, tiene 1024 octetos.

**BCC.** Para verificación de error se efectúa una determinada operación en el campo INFORMACION. El resultado de esta operación se coloca en el BCC. En la primera versión de este protocolo se efectuaba una suma de verificación que consiste en sumar el valor de los caracteres contenidos en el campo INFORMACION y dividir la suma por 255. El cociente de la suma se descarta, pero el resto de la división es el que se transmite en el campo BCC. En las nuevas versiones del protocolo para el cálculo del BCC se utiliza los códigos CRC, que estudiaremos en detalle en el Capítulo VII.

Una vez establecido el enlace, el receptor transmite un NAK para indicarle al transmisor que está listo para recibir bloques de datos. Los bloques recibidos se reconocen con ACK o NAK, según el caso.

En el protocolo XMODEM el receptor dispone de tres maneras para detectar un error. Si el error está en el carácter SOH, él será detectado de inmediato y se confirmará con NAK. Si el error está en el campo NUMERO DE BLOQUE o en el campo COMPLEMENTO, ellos no serán mutuamente complementarios y la condición de error se reconocerá con un NAK. Por último, si el error está en el campo INFORMACION, el BCC calculado y el BCC transmitido serán diferentes indicando que hay un error; esta condición conlleva un NAK.

Para finalizar un intercambio, el transmisor envía un carácter EOT indicando el fin del intercambio; el receptor lo reconoce con un ACK y el intercambio termina.

El protocolo XMODEM es de dominio público de modo que se puede desarrollar e instrumentar libremente en programas de comunicación (software).

### Protocolo YMODEM

El protocolo YMODEM se desarrolló como una extensión del protocolo XMODEM para incorporar algunas características adicionales a fin de mejorar su comportamiento. El formato del Protocolo YMODEM es idéntico al del XMODEM, Fig. 4.18, con la diferencia de que en vez de un carácter de arranque SOH utiliza el carácter STX. Además, el campo INFORMACION contiene 1024 octetos y el BCC se calcula con los códigos CRC.

Una vez establecido el enlace, el receptor transmite el carácter C (43H) para sincronizar el inicio y también para indicar que la verificación de error se va a efectuar utilizándose el código CRC. El transmisor envía un primer bloque que contiene en el campo INFORMACION el nombre del archivo, la longitud del mismo y la fecha de creación, y completa el resto del campo con CEROS. En esta etapa, el transmisor puede colocar al principio de la trama el carácter SOH para indicar que el campo INFORMACION contiene 128 octetos. Los bloques siguientes se inician con el carácter STX indicando que en el campo INFORMACION van 1024 octetos. La estación transmisora indica la terminación del intercambio con una trama de la forma **[SOH][00H][FFH][128 CEROS][BCC]** para indicar que no hay más archivos para transmitir; el receptor lo reconoce con un ACK y el intercambio finaliza.

En la práctica se consiguen otros protocolos de transferencia de archivos, tales como el XMODEM-G, el YMODEM-G BATCH, el ZMODEM, el KERMIT, etc. Para más información sobre estos protocolos, ver, por ejemplo, [Held, 1994].

#### 4.2.4. Protocolos de Control por Conteo de Octetos

##### Protocolo DDCMP

La principal desventaja del protocolo BSC es la complicación que se produce como resultado de los procedimientos especiales utilizados para asegurar la transparencia. Este problema se ha resuelto en el Protocolo DDCMP (Digital Data Communication Message Protocol) desarrollado por la DEC (Digital Equipment Corporation), en el cual mediante el conteo de los caracteres u octetos contenidos en el campo INFORMACION se ha eliminado la utilización de DLE y de otros caracteres de control.

El Protocolo DDCMP es un protocolo general y puede utilizarse en sistemas HDX y FDX, serie o paralelo, asincrónicos y sincrónicos, punto a punto y multipunto.

Este protocolo, cuyo formato se muestra en la Fig. 4.19(a), utiliza un Encabezado o "header" que contiene los campos CLASE, CONTEO, BANDERA, RESPUESTA, SECUENCIA, DIRECCION y BCC1. Este Encabezado no es opcional como en el caso del protocolo BSC y más bien es la parte más importante de la trama, pues contiene información acerca del número de octetos de información así como las cantidades de octetos transmitidos y recibidos, que son las dos características más importantes del protocolo DDCMP; tanto es así que tiene su propio campo, el BCC1, para la verificación de error. La información o texto propiamente va en el campo INFORMACION y puede contener hasta 16363 octetos; el campo BCC2 sirve para la verificación de error en el campo INFORMACION. Este tipo de verificación de error utiliza los códigos CRC.

IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

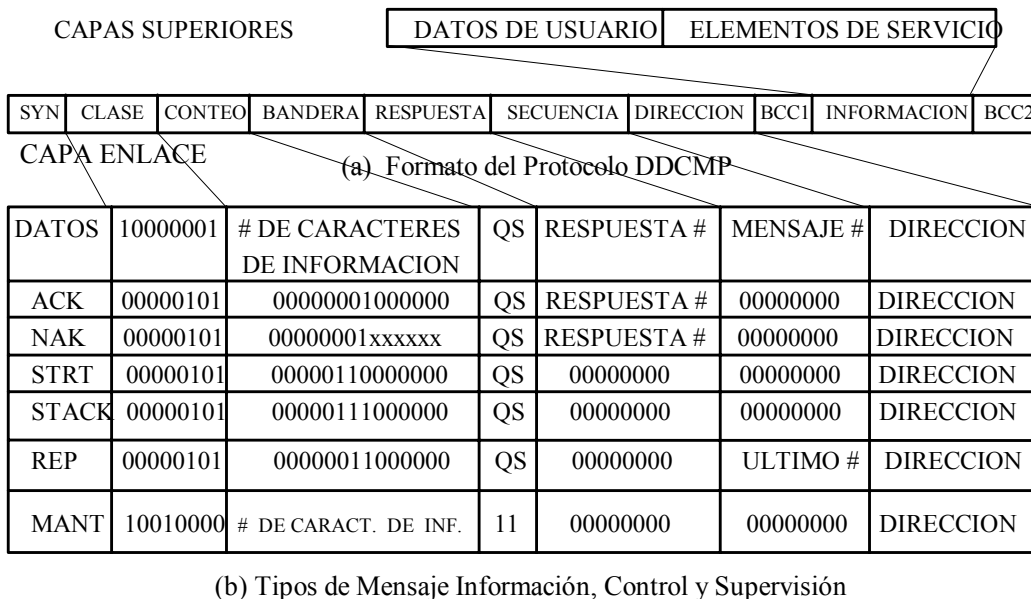


Fig. 4.19. Formato y Mensajes del Protocolo DDCMP.

Los campos de la trama DDCMP tienen la siguiente significación:

SYN. Se transmite varios caracteres SYN (por lo menos dos) para efectos de sincronización, como en BSC.

CLASE. Indica la clase de mensaje: Datos, Control (ACK, NAK, ..., STACK) y Mantenimiento.

La trama de la CLASE DATOS es la única que lleva los campos INFORMACION + BCC2.

En la trama NAK los seis dígitos xxxxxx indican la causa por la cual se pide la repetición de una trama. Entre otras tenemos, por ejemplo,

- 0 0 0 0 0 1 indica "error en el Encabezado"
- 0 0 0 0 1 0 indica "error en el campo INFORMACION"
- 0 0 1 0 0 0 indica "buffer no disponible"
- 0 0 1 0 0 1 indica "receptor desbordado (overrun)"
- 0 1 0 0 0 1 indica "mensaje demasiado largo"

La trama REP es una trama de supervisión que se utiliza, después de un "time-out", para pedir una respuesta a la trama cuyo número se envía en el campo SECUENCIA. Si la trama en cuestión ha sido recibida correctamente, la respuesta es un ACK; de lo contrario es un NAK. En ambos casos en el campo RESPUESTA se colocará el número de la trama solicitada.

La trama MANTENIMIENTO se utiliza para propósitos de diagnóstico.

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

**CONTEO.** Indica la cantidad de octetos, hasta 16383, contenidos en el campo INFORMACION cuando la trama es de Datos. Contendrá otros mensajes cuando la trama es de Control o de Mantenimiento, como puede observarse en la Fig. 4.19(b).

**BANDERA.** Indica la presencia de dos dígitos especiales denominados banderas: la bandera Q (“quick sync flag bit”) que se utiliza para facilitar la sincronización en el receptor cuando hay un pequeño intervalo de tiempo antes de enviarse la trama siguiente, y la bandera S (“select bit”) que se utiliza para controlar la transmisión en enlaces HDX y multipunto. El efecto de la bandera S es similar al de EOT en BSC.

**RESPUESTA.** En este campo se transmite el número, en módulo 256, del último mensaje recibido correctamente. Este es el “Número de Respuesta N(R)” y va desde 1 hasta 255; el valor 0 no se utiliza. El número N(R) solamente se transmite en las tramas de DATOS, ACK y NAK.

**SECUENCIA.** En este campo se transmite el número, en módulo 256, del mensaje que se está enviando. Este es el “Numero del Mensaje en Transmisión N(S)” y va desde 1 hasta 255; el valor 0 no se utiliza. El número N(S) solamente se transmite en las tramas de DATOS y REP.

**DIRECCION.** Es la dirección de una estación receptora en sistemas multipunto y puede direccionar hasta 255 estaciones secundarias. En el intercambio entre la Estación Primaria y una Estación Secundaria, todas las tramas llevarán la dirección de la estación secundaria. En transmisión punto a punto en el campo DIRECCION se coloca la dirección “1”.

**BCC1.** El campo BCC1 contiene dos octetos para la verificación de error en el Encabezado. El cálculo del BCC1 se efectúa desde CLASE hasta DIRECCION mediante el código CRC-16, que veremos en el Capítulo VII.

**INFORMACION.** En este campo va la información del usuario que viene de las capas superiores; puede contener hasta 16383 octetos. Este campo con su BCC2 se utiliza solamente en las tramas de la CLASE Datos.

**BCC2.** Este campo contiene dos octetos para la verificación de error en el campo INFORMACION. Utiliza el código CRC-16.

En el protocolo DDCMP las estaciones que están intercambiando información numeran los mensajes en forma secuencial comenzando con el mensaje 1 hasta el 255. Esta numeración se aplica en cada sentido en forma independiente. Por ejemplo, la estación A puede estar enviando los mensajes 6, 7 y 8 a la estación B, mientras que la estación B está enviando los mensajes 5, 6 y 7 a la estación A.

Cuando una estación transmite un mensaje N(S) a otra estación, ella coloca el número  $[N(S) + 1]$  en el campo SECUENCIA. Además de registrar en un contador los mensajes que envía, la estación registra en otro contador los mensajes

#### IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

recibidos correctamente en la forma  $[N(R) + 1]$  y los transmite en el campo RESPUESTA;  $N(R)$  es el número del último mensaje recibido correctamente.

Cuando una estación detecta un error, ella envía una trama NAK. El protocolo DDCMP no requiere un reconocimiento para cada mensaje puesto que el número contenido en el campo RESPUESTA especifica el número de secuencia del último mensaje correcto recibido. Por ejemplo, si se ha recibido los mensajes 4, 5, 6 y el mensaje 6 llega en error, se responde con una trama NAK donde se especifica en el campo RESPUESTA el número 6 que indica que los mensajes hasta el 5 han sido recibidos correctamente pero que el mensaje 6 está en error. En el campo CLASE de la trama NAK se especifica el tipo de error.

Cuando una estación recibe un mensaje fuera de secuencia, ella no responde a ese mensaje. La estación transmisora detecta esto en el campo RESPUESTA que recibe y espera un tiempo dado (Time-out) a partir del cual envía un mensaje REP el cual contiene el número del último mensaje enviado. La estación receptora contesta con ACK o NAK según el caso, indicando el último mensaje recibido correctamente. La estación transmisora retransmite los mensajes siguientes al especificado en la trama.

En general, el protocolo DDCMP es un buen protocolo de Capa Enlace pero no ha sido muy utilizado, fuera de la DEC, porque los protocolos de control por dígitos, que veremos a continuación, son mucho más eficientes. En particular, el Protocolo HDLC ya ha sido normalizado por el UIT-T y la ANSI (American National Standards Institute) y es de aplicación internacional.

#### **Resumen de las Características del Protocolo DDCMP**

##### Características

- Control por Conteo de Octetos
- Transmisión HDX/FDX Sincrónica
- Formato del Carácter: ASCII Sincrónico
- Velocidades: 300 a 100 kbps
- Interfaces: RS-232C, RS-449, V.35

#### **4.2.5. Protocolos de Control por Dígitos**

Los protocolos de control a nivel de enlace más utilizados en la transmisión de datos son los Protocolos de Control por Dígitos (Bit-Oriented Protocols). En estos protocolos la información se puede transmitir en secuencias de dígitos de cualquiera longitud sin necesidad de dividirla en caracteres, pues el control se hace dígito a dígito. Sin embargo, consideraciones de tipo instrumental y tecnológico requieren que la longitud de una secuencia de dígitos sea un múltiplo entero de un carácter, generalmente un octeto.

Entre las ventajas de estos protocolos, tenemos:

- Pueden trabajar en HDX y FDX en modo sincrónico.

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

- Son más eficientes pues en el Encabezado solamente se tiene los campos DIRECCION y CONTROL, normalmente de un octeto cada uno.
- En el campo INFORMACION se puede emplear cualquier código, incluso códigos cifrados.
- No se necesita reconocimientos (positivos o negativos) para cada trama transmitida; solamente después de haber transmitido un cierto número de tramas (típicamente 7) es que se retransmite un ACK y el proceso se repite.
- El control de flujo es más sencillo.
- La integridad de los datos se verifica mediante una verificación de los bloques recibidos mediante un BCC, y mientras no se detecte un error la transmisión continúa. En caso de detectarse errores en la trama, simplemente se pide la retransmisión de la trama en error. En los protocolos de control por dígitos en vez de las siglas BCC se utilizan las siglas FCS (Frame Check Sequence) o “Secuencia de Verificación de Trama”, que utilizaremos de aquí en adelante.

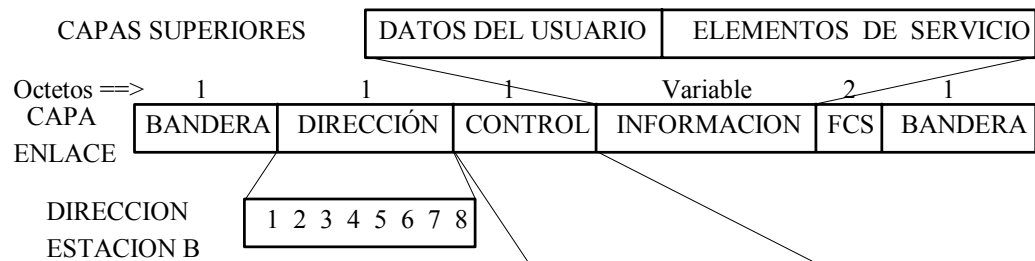
Hay varias clases de protocolos de control por dígitos, pero aquí vamos a describir solamente dos protocolos, el Protocolo SDLC (Synchronous Data Link Control Protocol) y el protocolo HDLC (High-Level Data Link Control Protocol). Estos protocolos proporcionan una base excelente para el estudio de otros protocolos tales como el ANSI ADCCP, el UIT-T LAP/LAPB, el ISDN LAPD, el UNISYS DLC y los protocolos IEEE 802 para el control de redes de área local.

**Protocolo SDLC**

El protocolo SDLC fue desarrollado por la IBM en 1974 específicamente para sistemas multipunto con una Estación Principal y múltiples Estaciones Secundarias. El Protocolo SDLC es un protocolo sincrónico, FDX, para operación punto a punto y multipunto. Este protocolo opera en el Modo de Respuesta Normal (Normal Response Mode, NRM) en el cual todas las Estaciones Secundarias están subordinadas a la Estación Principal (Sistema Maestra-Esclava) y no efectúan ninguna operación que no sea solicitada por la Maestra. Este protocolo es muy utilizado por la IBM en muchos de sus sistemas.

En la Fig. 4.20 se muestra el formato y los diferentes tipos de mensaje de este protocolo. Este formato es, con algunas diferencias, el mismo que el del protocolo HDLC; de hecho, el protocolo HDLC es una versión avanzada del protocolo SDLC y normalizada por la ISO y el UIT-T. Como el formato SDLC y HDLC tienen la misma forma y aplicación, vamos a describir ahora el SDLC, y después veremos las diferencias de uno respecto al otro.

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION



(a) Formato del Protocolo SDLC

CAMPO DE CONTROL

Dígitos ==> LSB MSB

FORMATO	COMANDO/RESPUESTA P/F	1	2	3	4	5	6	7	8
DATOS I	-----	0	N(S)		P/F	N(R)			
SUPERVISION	RR	1	0	0	0	P/F	N(R)		
	RNR	1	0	1	0	P/F	N(R)		
	REJ	1	0	0	1	P/F	N(R)		
SIN NUMERACION (Unnumbered)	UI	1	1	0	0	P/F	0	0	0
	SNRM	1	1	0	0	P	0	0	1
	DISC	1	1	0	0	P	0	1	0
	UA	1	1	0	0	F	1	1	0
	TEST	1	1	0	0	P/F	1	1	1
	SIM	1	1	1	0	P	0	0	0
	RIM	1	1	1	0	F	0	0	0
	FRMR	1	1	1	0	F	0	1	0
	RD	1	1	1	0	F	0	1	0
	DM	1	1	1	1	F	0	0	0
XID	1	1	1	1	P/F	1	0	1	

(b) Tipos de Mensaje en el Protocolo SDLC

Fig. 4.20. Formato y Mensajes del Protocolo SDLC.

El formato SDLC, Fig. 4.20(a), contiene los campos BANDERA, DIRECCION, CONTROL, INFORMACION, FCS y BANDERA.

#### BANDERA

Tanto al principio como al final de la trama se tiene las banderas, que son octetos especiales de la forma 0 1 1 1 1 1 1 0 (7EH); la segunda bandera indica también el comienzo de la siguiente trama. Para proteger la bandera y asegurar la transparencia en la transmisión, en el transmisor se inserta un CERO cada vez que aparezca una secuencia de cinco UNOS seguidos a fin de impedir que una secuencia de la forma 7EH pueda confundirse con una bandera. Esta técnica se conoce con el nombre de

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

“inserción de CEROS”; en el receptor se eliminará siempre aquel CERO que esté precedido por cinco UNOS asegurándose así la transparencia y la integridad de la información.

## DIRECCION

En este campo va siempre la dirección de la Estación Secundaria, pues el intercambio es siempre entre la Maestra y una Esclava. En efecto, cuando la Maestra transmite ella pone la dirección de la Esclava en el Campo DIRECCION y cuando la Esclava transmite ella pone allí su propia dirección. La Maestra puede direccionar hasta 255 Esclavas.

## CONTROL

Este es el campo más importante del protocolo SDLC. En este campo, Fig. 4.20(b), se define tres tipos de mensaje o trama: DATOS I, SUPERVISION S y SIN NUMERACION U (Unnumbered), que vamos a describir brevemente.

**DATOS I.** Se utiliza para la transferencia de información y, junto con la trama FRMR, son los únicos que llevan el campo INFORMACION. Se caracteriza porque el primer dígito en el campo de control es un 0; se tiene también los números de secuencia de envío N(S) y de recepción N(R), de tres dígitos cada una, con los cuales se puede contar hasta siete mensajes consecutivos. El número en el campo N(R) indica el número de la próxima trama esperada; por ejemplo, si se recibe correctamente el mensaje 3, en el campo N(R) se colocará el número 4 que es el número de la próxima trama esperada. El dígito P/F se denomina Dígito Poll/Final; cuando se utiliza como Poll (un comando), la Maestra lo pone a UNO para solicitar una respuesta desde una Esclava. La Esclava responde a la solicitud y al finalizar la trama pedida o la última trama de una serie pone el dígito, ahora denominado Final (una respuesta), a UNO. La Estación Primaria no puede volver a colocar el dígito P igual a UNO hasta que no haya recibido el dígito Final igual a UNO. Asimismo, la Estación Secundaria no puede poner el dígito F igual a 1 hasta no haber recibido un comando con el dígito Poll igual a UNO. Los dígitos P y F siempre van aparejados.

**SUPERVISION S.** Las tramas de SUPERVISION S se identifican cuando los dos primeros dígitos del campo de control son 1 0. En esta trama se tiene, sea una respuesta (con la cual se confirma, por ejemplo, la recepción correcta de una trama I), o un comando (a fin de, por ejemplo, pedir la retransmisión de tramas I). En esta trama se indica también el número N(R). Los diferentes tipos de trama de SUPERVISION S son, Fig. 4.20(b),

**RR(Receive Ready).** Un comando/respuesta RR puede ser enviado por una estación primaria o por una secundaria para indicar que todas las secuencias o tramas hasta el valor  $[N(R) - 1]$  han sido recibidas correctamente y que está lista para recibir más tramas.

**RNR (Receive not Ready).** Un comando/respuesta RNR puede ser enviado también por una estación primaria o secundaria indicando que ha recibido

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

mensajes correctos hasta el valor  $[N(R)-1]$ , pero debido a una condición de “ocupado temporalmente” no puede recibir más tramas que requieran almacenamiento.

REJ (Reject). REJ es un comando/respuesta que se utiliza para pedir retransmisión de una trama en error cuyo número es  $N(R)$ . El comando o respuesta REJ reconoce la llegada de tramas correctas hasta el valor  $[N(R)-1]$  y solicita las tramas de valor  $N(R)$  y siguientes.

SIN NUMERACION U. Estas tramas se identifican cuando los dos primeros dígitos del campo de control son 11. Las tramas U controlan la transferencia de información y proveen una variedad de funciones de gestión, inicialización, cambio de modos de operación, etc. Como su nombre lo indica, no llevan información sobre los números de secuencia  $N(R)$  y  $N(S)$ . Al protocolo SDLC se le ha agregado nuevas funciones para las tramas U de comando/respuesta, pero las más utilizadas son, Fig. 4.20(b):

UI (Unnumbered Information). Esta trama indica que la información que sigue en el campo de información de longitud variable está siendo enviada separadamente de cualquier mensaje en secuencia actualmente en progreso.

SNRM (Set Normal Response Mode). Este comando subordina la estación secundaria receptora a la estación primaria transmisora y la estación secundaria no comenzará ninguna transmisión a menos que le sea pedida por la estación primaria; este es Modo de Respuesta Normal (NRM) propio del protocolo SDLC y es una configuración Maestra-Esclava. Los contadores  $N(R)$  y  $N(S)$  se inicializan a cero tanto en la estación primaria como en las secundarias. La estación secundaria permanece en este modo hasta que reciba un comando DISC o SIM. La respuesta esperada del comando SNRM es UA.

DISC (Disconnect). Este comando coloca a la estación secundaria fuera de línea (Off-Line). Esa estación no puede recibir ni transmitir tramas de información y permanece desconectada hasta que recibe un SNRM o un SIM. La respuesta esperada del comando DISC es UA.

UA (Unnumbered Acknowledgement). Esta es la respuesta afirmativa a los comandos SNRM, DISC o SIM. Se utiliza también para reconocer tramas de información no numeradas.

TEST. Es un comando que puede enviarse en cualquier modo para solicitar una respuesta de TEST. Si un campo de información está incluido con el comando, la estación secundaria lo regresa en la respuesta.

SIM (Set Initialization Mode). Este comando inicia los procedimientos específicos del sistema en la estación secundaria receptora a fin de comenzar el proceso de intercambio. Los contadores  $N(R)$  y  $N(S)$  se inicializan a cero tanto en la estación primaria como en las secundarias. La respuesta esperada del comando SIM es UA.

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

RIM (Request Initialization Mode). Esta trama es transmitida por una estación secundaria cuando desea que la estación primaria envíe un comando SIM . Si la estación primaria envía una trama diferente de SIM, la estación secundaria repite los RIM hasta que la estación primaria envía un SIM.

FRMR (Frame Reject). Esta es la respuesta transmitida por una estación secundaria en “modo de respuesta normal (NRM)” cuando recibe un comando no válido. Una trama con un FRMR en el campo de control contendrá un campo de Información de tres octetos en formato fijo en los cuales el primero contiene el campo de control de la trama rechazada, el segundo informa los números V(S) y V(R) actuales y un dígito C/R; y el tercero contiene cuatro dígitos W, X, Y y Z que cuando están a UNO indican, respectivamente: (a) la trama rechazada es un comando inválido, (b) la trama rechazada contiene un campo de información no autorizado, o una trama S o U de longitud incorrecta, (c) un campo de información que era tan largo que produjo un desbordamiento del “buffer”, y (d) que el N(R) recibido desde la estación primaria no tiene sentido porque no está de acuerdo con los N(S) transmitidos. Una vez que la estación secundaria ha enviado una trama FRMR, ella continuará respondiendo con FRMR hasta que la estación primaria reinicialice el enlace, es decir, que transmita una trama SNRM, pues se supone que las continuas retransmisiones no resuelven el problema y la única solución es recomenzar el intercambio. El campo de información de la trama FRMR tiene el formato siguiente:

Dígitos →

1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
Campo de Control de la Trama Rechazada								0	V(S)				C/R	V(R)				W	X	Y	Z	0	0	0	0

C/R = 0 = La trama rechazada era un Comando

C/R = 1 = La trama rechazada era una Respuesta

RD (Request for Disconnection). Es una respuesta enviada por una estación secundaria cuando desea colocarse en modo desconectado.

DM (Disconnection Mode) Esta es una trama de aviso transmitida por una estación secundaria para indicar que está desconectada.

XID (Exchange Identification). Cuando es un comando (P = 1) la estación primaria solicita la identificación de una estación secundaria. La estación secundaria transmite su código de identificación con el dígito F = 1.

#### INFORMACION

En este campo se localiza el texto o información que viene de las capas superiores y que se va a transmitir desde el ETD fuente hasta el ETD destino. En el campo INFORMACION se puede utilizar cualquier tipo de codificación y generalmente se utiliza un código que establece 8 dígitos por carácter; por lo tanto, el campo de información tendrá una longitud de  $n \times 8$  dígitos (64, 128, ..., 1024 octetos, etc.). El campo INFORMACION no está restringido ni en formato ni en contenido, y puede ser de cualquiera longitud razonable. La longitud máxima es aquella que produce la

#### IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

mínima cantidad de dígitos en error la mayor parte del tiempo, y es, por lo tanto, una función de la tasa de error (Bit Error Rate, BER) del canal.

##### FCS

Este campo se utiliza para la detección de error. La verificación cíclica se efectúa sobre los campos DIRECCION, CONTROL e INFORMACION. De acuerdo con el Código CRC, se calcula un valor determinado el cual se coloca en el FCS. En el extremo receptor se repite la misma operación y si el resultado de esta operación está de acuerdo con el FCS recibido, se considera que la trama está correcta; si no, se pide repetición de la trama en error. El Código CRC es el CRC-UIT-T especificado en la Recomendación UIT-T V.41, que veremos en el Capítulo VII.

El protocolo SDLC es uno de los protocolos sincrónicos más antiguos aunque no obsoleto, pues la IBM lo utiliza todavía en muchos de sus sistemas y su simplicidad lo hace ideal para iniciarse en el estudio de los protocolos de control por dígitos. Una forma avanzada del protocolo SDLC es el protocolo HDLC que describiremos de inmediato.

##### **Protocolo HDLC**

El protocolo SDLC se había convertido en un “protocolo de facto” por la cantidad de aplicaciones en donde se utilizaba, y cuando la IBM lo presentó a la ISO fue aceptado y con muchas modificaciones que mejoraron sus prestaciones, se publicó en 1976 con el nombre de Protocolo HDLC (High-Level Data Link Control Protocol), ISO 3309-76(E).

En la Fig. 4.21 se muestra el formato y algunos de los mensajes del Protocolo HDLC. Vamos a describir las diferencias en relación con el Protocolo SDLC.

Los mensajes definidos en el campo CONTROL, Fig. 4.21(c) son un subconjunto de los mensajes del protocolo HDLC. Más adelante describiremos otro subconjunto del protocolo HDLC, denominado LAPB, utilizado en la transmisión por paquetes (Recomendación UIT-T X.25).

Los campos BANDERA, INFORMACION y FCS tienen el mismo significado que en el protocolo SDLC. Sin embargo, en el campo INFORMACION se puede permitir caracteres de cualquiera longitud, pero por razones de instrumentación y compatibilidad generalmente los caracteres tienen ocho dígitos, es decir, son octetos.

En el campo DIRECCION el protocolo HDLC, además de la dirección específica (un octeto), tiene también la opción de “dirección extendida”. En este caso el campo DIRECCION tendrá  $n$  octetos; el primer dígito del primer octeto del campo extendido es un UNO, mientras que los octetos siguientes comienzan con un CERO, excepto el último que comienza con un UNO. Una estación primaria puede controlar entonces hasta  $127^n$  estaciones secundarias.

En la Trama de SUPERVISION S aparece un nuevo comando/respuesta denominado SREJ (Selective Reject) o Rechazo Selectivo. Con SREJ se puede solicitar la transmisión de una sola trama identificada en N(R), a diferencia de REJ que solicita la retransmisión de las tramas comenzando con la N(R). Con SREJ se puede pedir también la retransmisión de varias tramas pero una a la vez.



## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

## Modos de Operación en HDLC

En el protocolo HDLC hay tres modos de operación: el Modo de Respuesta Normal (Normal Response Mode, NRM), el Modo de Respuesta Asíncrona (Asynchronous Response Mode, ARM) y el Modo Asíncrono Balanceado (Asynchronous Balanced Mode, ABM).

El modo NRM es el modo mejor adaptado en aplicaciones multipunto con una estación primaria y varias secundarias. En el modo NRM una estación secundaria puede transmitir solamente cuando recibe autorización (poll o select) de la estación primaria. La estación secundaria puede transmitir entonces una secuencia de tramas en una respuesta, pero una vez que ha puesto el dígito F igual a UNO en la última trama, no puede transmitir hasta que no reciba una nueva autorización. Este es el mismo modo NRM del protocolo SDLC.

En el modo ARM se permite a las estaciones secundarias enviar respuestas no solicitadas. Para transmitir una respuesta, una estación secundaria no necesita haber recibido un comando con el dígito P = 1. Sin embargo, si una secundaria recibe un comando con P = 1, debe responder con una trama con el dígito F = 1 lo más pronto posible.

El modo ABM es el modo de operación entre dos estaciones de igual rango en enlaces punto a punto. Cualquiera de las dos estaciones puede iniciar un intercambio sin esperar una autorización (En general, este modo de operación se conoce con el nombre de Comunicación Par a Par). En HDLC, los dígitos P y F deben estar aparejados; en efecto, cuando una estación inicia una transmisión ella actúa como primaria poniendo el dígito P = 1, y la otra estación actúa como secundaria respondiendo con el dígito F = 1. La única excepción a esta regla es en el caso de error en una trama. Esto permite a una estación primaria, en condiciones cuidadosamente establecidas, enviar otro dígito P = 1 después de un tiempo cumplido (time-out). Por otro lado, examinando el campo DIRECCION, se puede determinar si una estación está actuando como primaria o como secundaria, pues la dirección será siempre la de la estación que actúa como secundaria. Este modo de operación no está descrito en la Fig. 4.21(c), pero lo veremos con más detalle más adelante.

Cuando se inicia un intercambio, la estación primaria es la que determina el modo de operación (NRM, ARM o ABM) con los comandos SNRM, SARM y SABM, y si se tiene la opción “dirección extendida” los comandos respectivos son SNRME, SARME y SABME.

## Control de Flujo y Recuperación de Errores

El control de flujo se verifica mediante la observación de los Números de Secuencia N(S) y N(R). En cada estación hay dos contadores, uno de los cuales determina el número de la trama I transmitida; se obtiene así el Numero de Secuencia de Envío N(S). El otro es el contador de las secuencias recibidas; este contador cuenta las tramas recibidas sin error de acuerdo con el algoritmo CRC-16 estableciendo así el Número de Secuencia de Recepción N(R). Por ejemplo, si la trama I transmitida tiene un  $N(S) = 4$ , y si la trama recibida no contiene errores, entonces en la estación receptora se hace  $N(R) = N(S) + 1 = 5$ .

Este es el número  $N(S)$  de la próxima trama a recibir. Nótese que la primera trama transmitida se numera  $N(S) = 0$ .

Los números  $N(S)$  y  $N(R)$  toman valores en módulo 7, es decir, 0, 1, 2, ..., 6, 0, 1, 2, etc., de manera que se pueda transmitir 7 tramas sucesivamente, hasta recibir un reconocimiento en forma de una trama S desde la estación receptora. La trama S contiene el comando RR de manera que al recibirlo, la estación transmisora envía otra serie de 7 tramas y así sucesivamente. Las tramas transmitidas quedan almacenadas en el transmisor hasta que se recibe el comando RR, pero si hay una trama en error, esa trama y las siguientes deberán ser retransmitidas cuando se recibe un comando REJECT .

Veamos ahora cómo se efectúa la recuperación de errores en las tramas. Supongamos que la trama  $N(S) = 4$  llegó con errores, es decir, al calcularse su FCS no concuerda con el FCS transmitido, de modo que se detecta una condición de error. Después que se ha recibido las tramas 0 a 3, el número de secuencia recibida pasará a ser  $N(R) = 4$ . Pero como la trama con  $N(S) = 4$  contiene errores, el contador de recepción no puede avanzar. Después que se ha transmitido la trama siguiente, se recibirá un  $N(S) = 5$ , pero la estación receptora no estará de acuerdo pues el número  $N(R)$  permanece todavía igual a 4 . Como consecuencia, se transmite una trama S que contiene un comando REJECT y  $N(R) = 4$ , mediante lo cual se solicita la retransmisión de las tramas a partir de la número 4. Este procedimiento se muestra en la Fig. 4.22.

En el procedimiento descrito en la Fig. 4.22 hemos supuesto, para simplificar la figura, que la Estación B no está transmitiendo información, solamente recibe.

### Resumen de las Características del Protocolo HDLC

#### Características

- Control por Dígitos
- Transmisión Sincrónica HDX/FDX
- Formatos de Carácter: ASCII, EBCDIC
- Modos de Operación: NRM, ARM y ABM ( Comunicación Par a Par)
- Velocidades de Transmisión: desde 300 bps hasta 10 Mbps
- Interfaces: RS-232C, V.35, RS-423A, RS-422A, RS-449
- Medios de Transmisión: par trenzado, radio, cable coaxial, fibra óptica
- Transparencia mediante inserción de ceros

Nota: entre trama y trama se puede enviar banderas o caracteres de relleno de la forma

1 1 1 1 1 1 1 1.

IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

ESTACION A	TRANSFERENCIA	ESTACION B
$N_A(S) = 0$ $N_A(R) = 0$	I $N_A(S) = 0 \quad N_A(R) = 0$ →	$N_B(S) = 0$ $N_B(R) = N_A(S) + 1 = 1$
$N_A(S) = 1$ $N_A(R) = 0$	I $N_A(S) = 1 \quad N_A(R) = 0$ →	$N_B(S) = 0$ $N_B(R) = N_A(S) + 1 = 2$
$N_A(S) = 2$ $N_A(R) = 0$	I $N_A(S) = 2 \quad N_A(R) = 0$ →	$N_B(S) = 0$ $N_B(R) = N_A(S) + 1 = 3$
$N_A(S) = 3$ $N_A(R) = 0$	I $N_A(S) = 3 \quad N_A(R) = 0$ →	$N_B(S) = 0$ $N_B(R) = N_A(S) + 1 = 4$
$N_A(S) = 4$ $N_A(R) = 0$	I $N_A(S) = 4 \quad N_A(R) = 0$ →	$N_B(S) = 0$ $N_B(R) = 4$ <ERROR> El Contador no avanza
$N_A(S) = 5$ $N_A(R) = 0$	I $N_A(S) = 5 \quad N_A(R) = 0$ →	$N_B(S) = 0$ ; Detección de Error $N_A(S) \neq N_B(R) = 4$
Repite las Tramas a partir de la 5 ( $N_A(S) = 4$ )	← $N_B(R) = 4$ S REJECT	$N_B(S) = 0$ ; Tramas Correctas $N_B(R) = 4$ hasta la 4
$N_A(S) = 4$ $N_A(R) = 0$	I $N_A(S) = 4 \quad N_A(R) = 0$ →	$N_B(S) = 0$ $N_B(R) = N_A(S) + 1 = 5$
$N_A(S) = 5$ $N_A(R) = 0$	I $N_A(S) = 5 \quad N_A(R) = 0$ →	$N_B(S) = 0$ $N_B(R) = N_A(S) + 1 = 6$
$N_A(S) = 6$ $N_A(R) = 0$	I $N_A(S) = 6 \quad N_A(R) = 0$ →	$N_B(S) = 0$ $N_B(R) = N_A(S) + 1 = 7$
Continúa la Transmisión de Tramas. RESET Contador; $N_A(S) = 0$	← $N_B(R) = 0$ S RECEIVE READY (RR)	$N_B(S) = 0$ RESET del Contador $N_B(R)$ $N_B(R) = 0$

Fig. 4.22. Mecanismo de Control de Flujo y Recuperación de Errores en HDLC.

♣ **Ejemplo 4.7**

Sea el Protocolo HDLC:

Se han recibido las siguientes tres secuencias codificadas en HDLC. Examine cuidadosamente estas secuencias y diga qué tipo de información contienen. La codificación utilizada en las tramas está en EBCDIC; los 16 dígitos xxxx...xx corresponden al FCS, que suponemos están correctos, es decir, que no hay error. Nota: Estas secuencias no son transparentes

(a) 011111101101000011111000xxxxx...xx01111110

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

(b) 011111100010100011000110xxxx...xx01111110

(c) 0111111011001100 01011011001001111100101110000011xxxx...xx01111110

Solución:

El primero y último octetos son las banderas y no las tomaremos en cuenta. Hay que identificar cada uno de los campos. Como las secuencias no son transparentes, no hay ceros insertados para descartar.

(a) Dirección: 11010000 → Estación 11 (El LSB está a la izquierda)

Control: 11111000 → Indica que es una Trama U → SARM: Establecer el Modo de Respuesta Asincrónico. Como el dígito P está a "1", éste es un comando desde la Estación Maestra; por lo tanto, significa que la dirección es "a la Estación 11".

El mensaje, un comando, es el siguiente: **"A la Estación 11: Establecer el Modo de Respuesta Asincrónico"**.

(b) Dirección: 00101000 → Estación 20 (El LSB está a la izquierda)

Control: 11000110 → Indica que es una Trama U → UA: Reconocimiento No Numerado. Es una respuesta afirmativa a los comandos SNRM, SARM, DISC o SIM. Como el dígito F = 0, es una respuesta y significa que la dirección es "desde la Estación 20"

El mensaje, una respuesta, es el siguiente: **"Desde la Estación 20: Reconocimiento No Numerado"**. La Estación Secundaria ha establecido el Modo de Respuesta Asincrónico para el intercambio de información.

(c) Dirección: 11001100 → Estación 51 (El LSB está a la izquierda)

Control: 01011011 → Indica que este es una Trama de Datos → I

$N(S) = 101 \rightarrow 5$ ; Ultimo mensaje correcto enviado:  $5 - 1 = 4$

$P = 1 \rightarrow$  Comando: indica "a la Estación 51"

$N(R) = 011 \rightarrow 6$ ; Ultimo mensaje correcto recibido:  $6 - 1 = 5$

Información (Código EBCDIC): 00100111-11001011-10000011 → ULA

El mensaje, un comando, es el siguiente: **"A la Estación 51: Información enviada: ULA. Se han enviado 4 mensajes correctos (0, 1, 2, 3) y se han recibido 5 mensajes correctos (0, 1, 2, 3, 4)"**. ♣

#### ♣ Ejemplo 4.8

Se tiene la siguiente Trama HDLC transparente:

01111110100000001111101001101011111011101101111110

Identifique el tipo de trama y diga cuáles fueron los ceros insertados para lograr la transparencia.

#### IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

Solución:

Recordemos el Modo Transparente en HDLC: “Cada vez que se encuentren cinco UNOS seguidos que no sean las banderas, se insertará un CERO”.

Separemos la secuencia en grupos y si cinco UNOS están seguidos de un CERO, este es un CERO agregado para transparencia:

01111110-10000000-111110**1**00-1101011111**1**011-01111110.

En el tercero y cuarto grupos hay cinco UNOS seguidos de un CERO. Este es un CERO insertado, que mostramos en negrita para identificarlo. La secuencia sin los CEROS insertados será entonces

01111110-10000000-11111100-110101111111011-01111110

Ahora podemos identificar la secuencia (no tomamos en cuenta las banderas) :

Dirección: 10000000 → Estación 1 (Estación B)

Control: 11111100 → Trama Sin Numeración U → SABM: Establecer el Modo de Respuesta Balanceado. Este modo es propio del LAPB de X.25. Como P = 1, es un comando que indica la dirección “a la Estación B” (que es la número 1). En este mensaje la Estación A le pide a la Estación B establecer el modo SABM para iniciar un intercambio de información. ♣

### 4.3. PROTOCOLOS DE CONTROL A NIVEL DE RED

#### 4.3.1. Introducción

De acuerdo con el Modelo de Referencia ISO/OSI, el propósito de la Capa Red es el de proporcionar capacidad de comunicación fin a fin a la Capa Transporte. La Capa Red debe proveer servicios de conmutación y enrutamiento a fin de establecer, mantener y terminar conexiones a nivel de red y transferir datos entre dos usuarios a través de una red.

Los protocolos de Capa Red son los primeros en operar a través de la red misma, a diferencia de los protocolos de Capa Enlace que operan solamente de punto a punto. De acuerdo con el concepto de estratificación de funciones, a la Capa Transporte no le interesa si la conmutación es por circuitos o por paquetes, ni el medio de transmisión utilizado (conductores metálicos, microondas, fibras ópticas, etc.), ni el tipo de red empleado (Redes de Gran Area (WAN), Redes de Area Local (LAN), etc.); a la Capa Transporte sólo le interesa la calidad del servicio recibido expresada en parámetros como tiempo de respuesta, tasa de error, velocidad de tráfico (throughput), etc.

La función básica de la Capa Red es, pues, la de proporcionar una trayectoria eficiente para el flujo de datos a través de una red. Esto implica funciones de direccionamiento, enrutamiento, control de flujo, secuenciamiento y multiplexamiento de mensajes y paquetes, y control de error desde un punto de vista global, es decir, de fin a fin. La trayectoria dentro de la red puede ser en la forma de un “circuito virtual” que se asemeja a una “trayectoria o circuito con conexión” que debe ser establecido antes de iniciar el intercambio de datos de control y de información. El circuito virtual puede asemejarse también a una “trayectoria o circuito sin conexión” en el cual los datos de control y de

información están contenidos en paquetes denominados “datogramas (datagrams)”. En este caso se dice que los paquetes son “paquetes sin conexión” y no es necesario el establecimiento previo de una conexión pues la red se encarga del enrutamiento y entrega del paquete; sin embargo, en general no hay garantía de que un datograma llegue a su destino.

La descripción de los protocolos de Capa Red la enfocaremos desde el punto de vista de la Transmisión Digital por Conmutación de Paquetes y de la Recomendación UIT-T X.25 cuyas características veremos a continuación.

#### 4.3.2. Transmisión Digital por Conmutación de Paquetes

Como ya lo adelantamos en el Capítulo I, en la transmisión digital por conmutación de paquetes los datos de información se agrupan o segmentan en forma de tramas para su transmisión sobre la red. En cada nodo de la red cada trama se almacena transitoriamente mientras se verifica su destino y la ruta que deberá seguir para alcanzar el próximo nodo más cercano a su destino; esta tarea la efectúa la computadora de la red. Como paquetes diferentes de un mismo mensaje pueden tomar rutas diferentes para llegar al nodo destino, en este nodo se verifica el ensamblaje de los diferentes paquetes de un mismo mensaje y la distribución final, de acuerdo con su dirección, a las estaciones de destino, por ejemplo, las estaciones B, C y D, como se muestra en la Fig. 4.23. Entre las estaciones se establece entonces los “circuitos virtuales” o “llamadas virtuales”, cuyo mecanismo lo describiremos en conexión con la Recomendación X.25 (El lector debe reconocer la diferencia entre una trama y un paquete; la costumbre es la de llamar “tramas” a las secuencias de Capa Enlace transmitidas las cuales incluyen dentro de su campo INFORMACION a los “paquetes” formados en la Capa Red; las tramas se asocian con la Capa Enlace y los paquetes con la Capa Red).

La utilización compartida de las líneas de los usuarios se puede llevar a cabo en este modo de transmisión mediante un procedimiento de multiplexamiento. Por ejemplo, Fig. 4.23, la estación A puede transferir paquetes de datos en forma consecutiva a las estaciones B, C, D, etc.

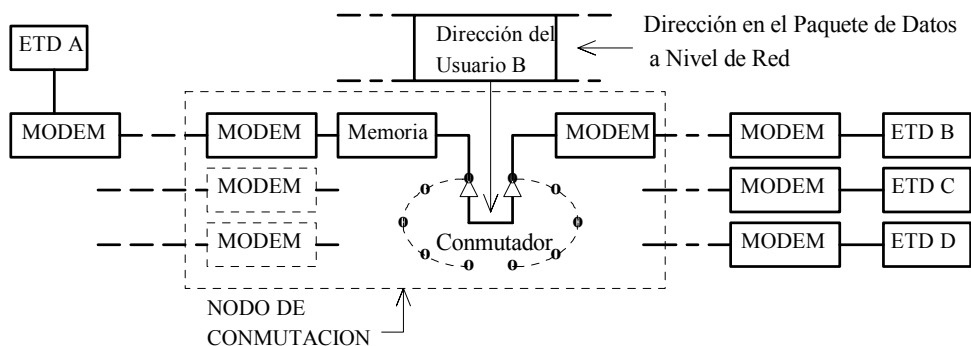


Fig. 4.23. Mecanismo de Conmutación en la Transmisión por Paquetes.

#### IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

En los primeros sistemas de conmutación por paquetes se tenía como objetivo principal los siguientes aspectos:

- (a) Aumentar la confiabilidad de la transmisión y de la conmutación. La red proporciona rutas alternas en caso de fallas en algún enlace e incluye sistemas de protección contra errores.
- (b) Aumentar el rendimiento del sistema. El sistema se diseña a fin de maximizar la utilización compartida de las líneas troncales, lo que se logra si los mensajes se manejan por paquetes. El sistema proporciona los medios apropiados a fin de que terminales inteligentes puedan intercambiar datos con otros terminales sobre enlaces virtuales.
- (c) Extender la capacidad de direccionamiento de las computadoras. En este caso el énfasis se enfoca en el manejo de los datos del usuario (en formato de paquetes) como una extensión del bloque de direccionamiento utilizado normalmente en la transferencia de información entre computadoras.

Las redes modernas se han diseñado para optimizar combinaciones de estos y otros aspectos de la operación por paquetes.

#### **Características de las Redes de Conmutación de Paquetes**

##### Paquetes entrelazados

Como ningún circuito está completamente dedicado para ser utilizado por dos usuarios solamente, se sigue que tanto los enlaces de usuario como en los enlaces troncales se puede entrelazar paquetes pertenecientes a diferentes pares de terminales de acuerdo con la demanda. Esta propiedad de multiplexamiento dinámico es muy atractiva desde el punto de vista económico, sobre todo para conexiones internacionales a grandes distancias.

##### Llamadas Multiplex

El entrelazado de los paquetes permite que un terminal pueda establecer un intercambio de paquetes con un número de terminales remotos, como se muestra en la Fig. 4.23.

##### Enrutamiento Adaptativo

El proceso de conmutación por paquetes requiere en cada nodo de conmutación la recepción de un paquete completo antes del procesamiento a fin de determinar la ruta de salida. El diseñador dispone de una completa flexibilidad para elegir la estrategia de enrutamiento óptimo de acuerdo con las condiciones y características de la red. Por ejemplo, se puede instrumentar las estrategias siguientes:

- (a) Al recibir el paquete de establecimiento de llamada (el primero de una serie), se selecciona la ruta a seguir. Una falla en cualquiera de los elementos de la red ocasiona la interrupción de la llamada.
- (b) Igual que en (a), pero la falla en un enlace dado hace que el nodo de conmutación seleccione una ruta alterna la cual es mantenida entonces durante toda la llamada.

#### IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

- (c) Cada paquete se enruta en base a un algoritmo de selección predeterminado, el cual varía la ruta de acuerdo con la carga instantánea y las fallas en los varios elementos o enlaces de la red.
- (d) Igual que en (c), pero el algoritmo mismo varía de acuerdo con la información de supervisión del sistema referente a la carga instantánea y a las características de falla.

El paso desde la estrategia (a) hasta la (d) hace que la red sea teóricamente más segura pero a expensas de una creciente complejidad.

#### Cambios de Velocidad y de Códigos

Siendo el proceso de conmutación de paquetes esencialmente un sistema de procesamiento y transmisión de datos almacenados en una memoria, los paquetes recibidos a una velocidad dada pueden reexpedirse a otra velocidad. Asimismo, a petición del usuario puede efectuarse alguna conversión de código como, por ejemplo, criptografía para privacidad y protección de la información.

#### Control de Flujo

La conmutación de paquetes hace imperiosa la necesidad de una protección adecuada contra el congestionamiento producido por usuarios con altos volúmenes de datos a altas velocidades que pueden afectar el servicio y que en casos extremos pueden hasta saturar la red. El sistema provee estas facilidades.

#### Detección y Recuperación de Errores

En los sistemas de conmutación por paquetes la detección y recuperación de errores se efectúa nodo a nodo utilizando las técnicas de los polinomios generadores CRC. La detección y recuperación de errores en los nodos de entrada y de salida de la red se efectúa en cooperación con los usuarios mismos, pero en los enlaces troncales los errores son detectados y recuperados dentro de la red. En estos casos el usuario experimenta solamente un ligero aumento en el retardo de propagación debido a la necesidad de retransmisión de las tramas en error. En los sistemas modernos de paquetes rápidos, Frame Relay por ejemplo, hay verificación de error en todos los enlaces, pero si un paquete está en error inmediatamente él es descartado; la recuperación del error se deja a las capas superiores. Como consecuencia, la velocidad de transmisión de información aumenta en algunos órdenes de magnitud.

En la Recomendación UTI-T V.41 “Sistemas de Control de Error no dependientes de la Codificación”, se describe con detalle formas y métodos de detección y recuperación de errores en las redes digitales.

#### **Servicios y Facilidades de la Red**

##### Servicio de Datogramas (Datagram Service)

En principio, cada paquete manejado por la red se puede tratar como una entidad completamente independiente. Sin embargo, los datogramas, que son paquetes que solamente llevan las direcciones de origen y destino pero que no van numerados, se pueden

#### IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

mover a través de la red, pero aún si llegan a destino el usuario de origen no podrá comprobarlo pues los datogramas no necesitan reconocimiento; ésta es la “transmisión sin conexión”. La versión inicial de la Recomendación X.25 contenía un servicio de datogramas, pero en 1984 fue eliminado por la baja aceptación por parte de los usuarios. No obstante, en las Redes de Area Local se utiliza el servicio de datogramas, como veremos posteriormente.

##### Servicios de Llamadas Virtuales

Como la mayor parte de los intercambios requiere la transmisión de paquetes relacionados en alguna forma, por ejemplo, cuando dialogan dos terminales dados, las redes ofrecen en la interfaz del suscriptor un método para manejar paquetes en secuencia llamado “Servicio de Llamadas Virtuales (Virtual Call Service)”. Este servicio se ofrece mediante “circuitos virtuales conmutados” o “circuitos virtuales permanentes”.

En el circuito virtual conmutado los participantes en un intercambio no tienen una línea dedicada exclusivamente a ellos, pero la red mantiene un registro de la llamada, asigna un número de canal a los paquetes en tránsito y proporciona los recursos apropiados para que el flujo de datos sea uniforme. El usuario establece la llamada virtual mediante un paquete de solicitud de llamada dando todos los detalles de la dirección de destino, tipo de llamada, etc. Los paquetes siguientes llevan como referencia solamente el número de canal asignado como identificación durante todo el intercambio hasta que éste finaliza. Cualquiera de los dos usuarios puede finalizar la conexión mediante la transmisión de un paquete de desconexión de llamada.

Aquellos usuarios que llaman con mucha frecuencia al mismo punto de destino, pueden solicitar un circuito virtual permanente. La operación de este circuito es similar a la fase de transferencia de datos en un circuito virtual conmutado, pero el usuario no necesita hacer pedidos de llamada ni de terminación de llamada.

Los circuitos virtuales conmutados son análogos a los canales telefónicos conmutados en el sentido de que siempre hay que establecer previamente la conexión, la cual se mantiene durante el intercambio; mientras que los circuitos virtuales permanentes se asemejan a los canales telefónicos arrendados en que no hay que establecer conexiones y se tienen siempre a disposición del usuario sea que los esté utilizando o no.

##### Interconexión entre Terminales de Datos

Casi la mayor parte del intercambio de datos se efectúa entre terminales de datos y computadoras. Las computadoras pueden utilizar una interfaz para trabajar en Modo Paquete pero sería antieconómico convertir cada terminal, que trabaja en Modo Carácter, para transmitir o recibir paquetes de datos.

A fin de satisfacer esta creciente demanda, las redes ofrecen unos dispositivos para empaquetar y desempaquetar datos denominados Unidades PAD (Packet Assembler and Disassembler Unit, PAD). Estos dispositivos aceptan caracteres desde los terminales de datos tipo carácter y los ensamblan en paquetes para su transmisión por la red. En el PAD de destino se ejecuta la operación inversa. La operación óptima de los PAD depende del

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

conocimiento detallado de las características de los terminales servidos y del desarrollo de reglas y protocolos tanto para la transmisión de datos como para el control del PAD mismo.

Hay otros tipos de servicios y facilidades provistos por la red de paquetes que veremos en relación con la Recomendación X.25.

En general, las ventajas de la transmisión por paquetes sobre los otros sistemas actuales son sus altas velocidades de operación, su confiabilidad y su menor costo por paquete transmitido. Tiene también la ventaja de que en las horas pico los mensajes no se pierden por falta de línea sino que se almacenan para ser transmitidos en las horas siguientes. En esta forma el sistema trabaja casi al óptimo de su capacidad. En efecto, un sistema que opere, por ejemplo, al 80% de su capacidad, tendrá muy pocos retardos en la transmisión si la longitud de los mensajes no es muy larga pues puede bloquearse ciertas rutas y retardar otros mensajes.

**Recomendaciones del UIT-T**

Con el fin de ofrecer un servicio uniforme a nivel nacional e internacional, el UIT-T ha promulgado un conjunto de recomendaciones en la Serie X para la transmisión digital por conmutación de paquetes. Estas recomendaciones son:

- X.1. Clases de Servicio Internacional para la Transmisión de Datos sobre una Red de Datos Pública. Asigna denominaciones a las diferentes velocidades y tipos de terminal.
- X.2. Servicios y Facilidades a Nivel Internacional en las Redes de Datos Públicas. Especifica servicios y facilidades esenciales, adicionales u opcionales.
- X.3. Parámetros de las Unidades de Ensamblaje y Desensamblaje de Paquetes (PAD). Describe las funciones del PAD y todos sus diferentes parámetros.
- X.25. Interfaz para el Servicio de Llamadas Virtuales en Transmisión por Paquetes. Define una arquitectura de tres capas (Física, Enlace y Red) para controlar el acceso a una red de transmisión por paquetes.
- X.28. Interfaz de Interconexión entre un ETD en Modo Arranque-Pare (Modo Asíncronico) y un PAD. Define la arquitectura de los protocolos entre un ETD en Modo Arranque-Pare y un PAD.
- X.29. Interfaz de Interconexión entre un PAD y un ETD en Modo Paquete u otro PAD. Describe los procedimientos para el intercambio entre un PAD en un extremo de la red y un ETD u otro PAD al otro extremo de la red.
- X.75. Operación Internacional (o inter-centrales) en Modo de Conmutación de Paquetes.
- X.121. Plan de Numeración Internacional para las Redes Públicas de Datos. Define un plan de numeración que incluye asignaciones de código para cada nación.

## 4.4. LA RECOMENDACION X.25

### 4.4.1. Introducción

La Recomendación X.25 fue aprobada por el IUT-T en 1976, con revisiones en 1980 y 1984. Esta recomendación fue el fruto de un esfuerzo conjunto de Canadá, Francia, Japón y Estados Unidos. Es anterior al desarrollo del Modelo de Referencia ISO/OSI, pero con las revisiones que se le han hecho en cooperación con la ISO, ella está de acuerdo con las tres primeras capas ISO/OSI. La Recomendación X.25 define las normas para interconectar un ETD (terminales de datos, computadoras, etc.) a una red de conmutación de paquetes a través de un ETCD o un Nodo de Acceso a la Red.

Estrictamente hablando, el protocolo X.25 no es una arquitectura de red sino que es un protocolo estratificado que exhibe muchas de las propiedades de una arquitectura de red. La X.25 es una recomendación de interfaz; ella especifica los detalles de los protocolos de interfaz requeridos para capacitar a un ETD local para poder comunicarse con un ETCD local el cual se presume que provee el acceso a una red de conmutación de paquetes. La idea básica se muestra en la Fig. 4.24.

Los ETD que desean comunicarse (local y remoto) a través de una red de datos lo hacen mediante interfaces X.25, una a cada extremo de la red y la red maneja la transmisión y entrega de los datos entre los dos ETD. Nótese que lo que sucede dentro de la red no está especificado en la Rec. X.25; el fabricante de la red está en libertad de diseñar su propio protocolo de red siempre que las normas de entrada/salida sean X.25. La interfaz X.25 supone que la red es de conmutación de paquetes, aunque esto no es necesario puesto que solamente están especificados los protocolos de interfaz entre la red (representada por los ETCD) y los ETD local y remoto. Estos ETD pueden ser cualquier tipo de terminal inteligente o computadora equipados para manejar el protocolo X.25, generalmente mediante una tarjeta y su programa correspondiente.

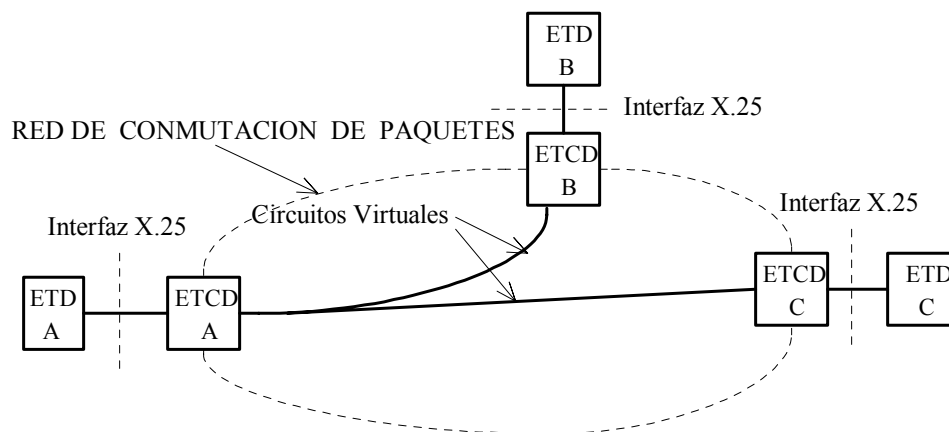


Fig. 4.24. Concepto X.25.

#### 4.4.2. Descripción de las Capas X.25

En el protocolo X.25 solamente se describe las tres primeras capas del Modelo ISO/OSI, las cuales se muestran esquemáticamente en la Fig. 4.25. La capa inferior es, por supuesto, la Capa Física; para ella se especifica el uso de un circuito sincrónico, punto a punto, FDX, para la interconexión física entre el ETD y el nodo de acceso a la red. Se utiliza las interfaces V.24/V.28/EIA-232D cuando la interconexión es directa o a través de un módem (circuito analógico); pero si el circuito es digital se utiliza las interfaces X.21, RS-449/RS-423A y V.35. Las velocidades de transmisión se extienden desde 1200 bps hasta 64 kbps y la distancia máxima entre ETD y ETCD es de 15 m.

En el Nivel 2 o Capa Enlace el protocolo especificado por X.25 es un subconjunto del protocolo HDLC denominado LAPB (Link Access Procedure Balanced, LAPB). El protocolo LAPB, mostrado en la Fig. 4.26, proporciona un intercambio FDX entre el ETD y el ETCD o nodo de acceso a la red. La idea es que el intercambio de datos entre el ETD y la red se efectúe libre de errores, de manera que los errores producidos en la transmisión fin a fin sean imputables a la red y no a las interfaces.

Como puede observarse en la Fig. 4.26, el campo DIRECCION del protocolo LAPB solamente contiene dos direcciones: la de la Estación A o ETD (03H) y la de la Estación B o ETCD (01H). En el campo CONTROL se muestra los comandos/respuestas utilizados en LAPB; nótese que ahora son menos a fin de simplificar el intercambio. Durante un intercambio de información la mayoría de las tramas son comandos. Una trama de respuesta (con F = 1) se elabora solamente cuando se recibe una trama de comando con el dígito P = 1. Por ejemplo, la dupla SABM/UA es un par de comando/respuesta utilizado para inicializar todos los contadores y temporizadores al inicio de una sesión. Asimismo, la dupla DISC/DM es un par de comando/respuesta para finalizar el intercambio. La trama FRMR es una respuesta a cualquier comando ilegal para el cual no hay ninguna indicación de errores de transmisión; su descripción ya la vimos en relación con el protocolo SDLC. El resto de los comandos tienen la misma significación que en SDLC y HDLC.

Las tramas I de información llevan en el campo INFORMACION los paquetes que vienen de la Capa Red; las tramas I siempre se envían como comandos (P = 1). Las tramas se reconocen usando los números N(R) y N(S) como en el protocolo HDLC.

En el Nivel 3 o Capa Red de X.25 se especifica la manera en la cual la información de control y datos del usuario se estructura en paquetes. La información de control junto con el número de canal asignado y tipo de paquete, están contenidos en el encabezado (primeros tres octetos) del paquete, Fig. 4.28; en el campo INFORMACION va el resto de la información necesaria que le permite a la red identificar el ETD hacia el cual el paquete está destinado. Las funciones de control contenidas en el campo INFORMACION sirven para establecer o desconectar un circuito dado, para intercambio de datos, para interrupciones, etc. Contiene, asimismo, las direcciones del ETD local (llamante) y del ETD remoto (llamado). En este Nivel 3 hay que tomar en cuenta la diferencia entre paquetes que contienen información de usuario (Texto) y aquellos que sirven para controlar la transferencia de datos de ETD a ETD. Por esta razón, el encabezado contiene instrucciones codificadas acerca de, por ejemplo, paquetes para establecer o desconectar

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

circuitos, paquetes para transferir texto, paquetes para pedidos de retransmisión o para indicar la señal de “ocupado” desde un ETD dado. Más adelante describiremos la estructura de algunos paquetes con más detalle.

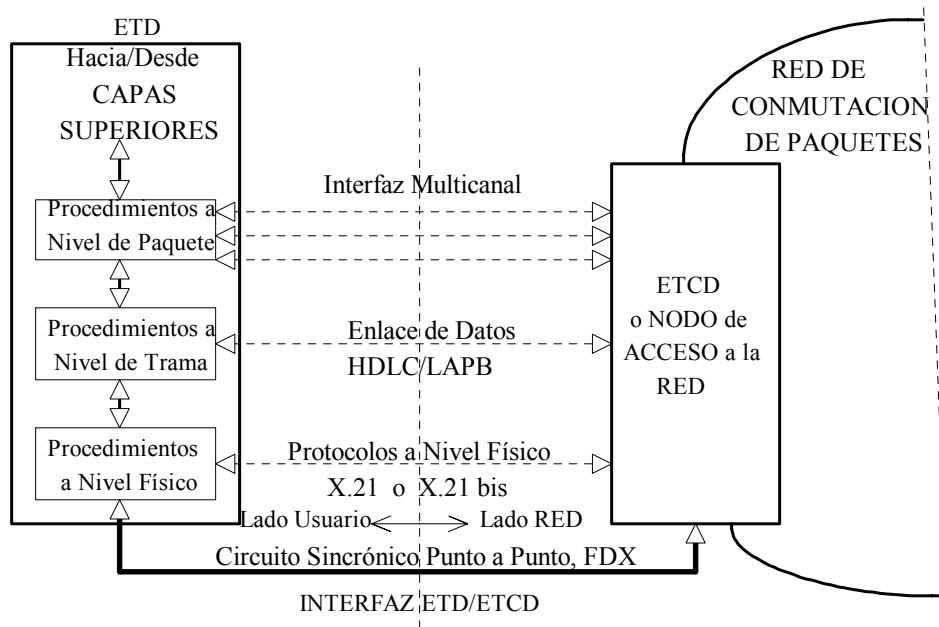


Fig. 4.25. Estructura de la Interfaz X.25.

En la Fig. 4.26 se muestra la estructura completa del protocolo LAPB en X.25.

#### 4.4.3. Servicios de la Red X.25

En la X.25 se define cuatro clases de servicio de llamadas virtuales: servicios de Circuitos Virtuales Conmutados (SVC), servicios de Circuitos Virtuales Permanentes (PVC), servicios de Datogramas (DS) y servicios de Selección Rápida (Fast Select, FS). Sin embargo, el servicio de datogramas fue eliminado de la X.25 en 1984 a favor del servicio FS que es similar. En efecto, el servicio Fast Select permite transmitir hasta 128 octetos de información en el mismo campo de Datos de Usuario del paquete de control que establece la llamada virtual (Paquete de Petición de Llamada). La respuesta (Paquete de Llamada Conectada) confirma la recepción de la información y termina la llamada. La descripción de los otros circuitos virtuales ya fue dada en la Sección 4.3.2 y no la repetiremos aquí.

Para cada uno de estos servicios la red X.25 asigna, en los octetos 1 y 2, un número de canal, pudiéndose asignar hasta 4095 circuitos a un canal físico, es decir, a una conexión LAPB. En la Fig. 4.27 se muestra el mapa de asignación de canales en X.25.

IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

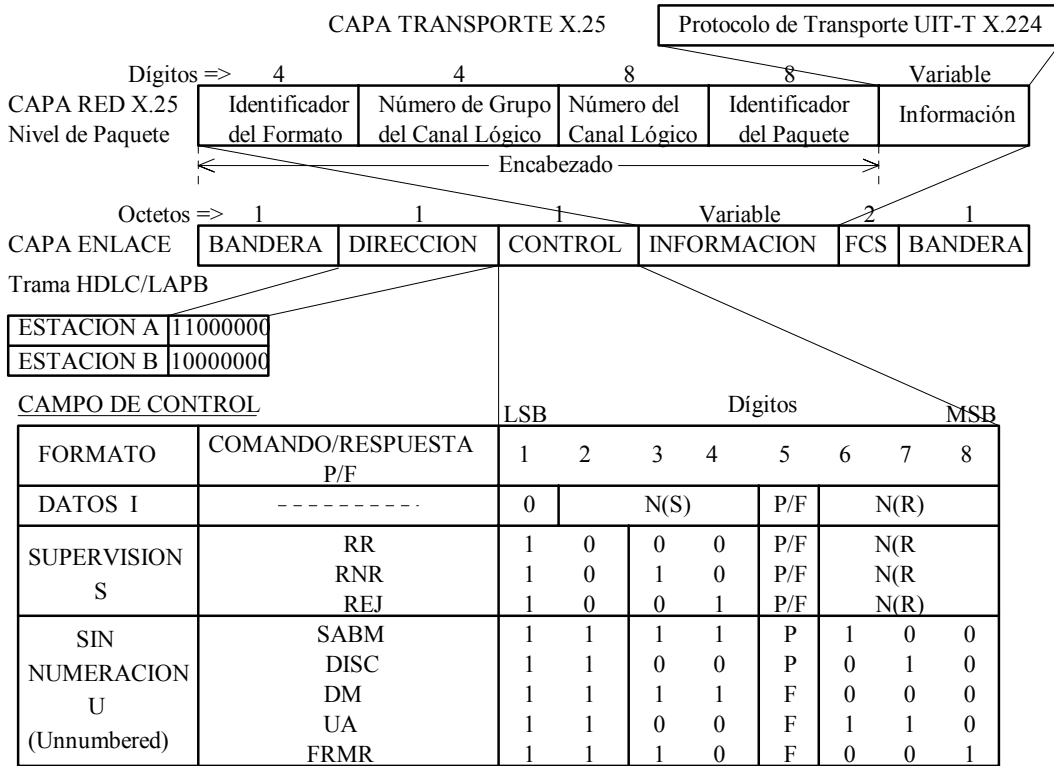


Fig. 4.26. Protocolo HDLC/LAPB en X.25.

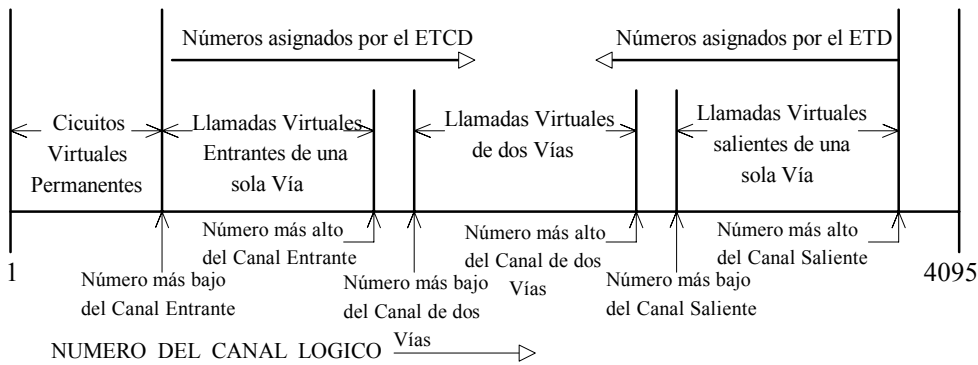


Fig. 4.27. Asignación de los Números de Canal Lógicos en X.25.

Los números de canal lógicos caen dentro de cuatro categorías, Fig. 4.27.

1. Los números más bajos se asignan a los “circuitos virtuales permanentes”.
2. Siguen los números para “llamadas virtuales entrantes de una sola vía”. Estos números se asignan para aplicaciones con servicio de autorespuesta.
3. A continuación se asigna números para las “llamadas virtuales de dos vías”. Este es el tipo más común pues permite recibir y transmitir sea en HDX o FDX.

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

4. Por último, se asigna números para “llamadas virtuales salientes de una sola vía”. Se utiliza en aplicaciones con servicio de tipo autodiscado.

Los usuarios contratan con la red un conjunto predeterminado de circuitos de cada categoría, por ejemplo, 2 circuitos virtuales permanentes, 6 circuitos para llamadas entrantes de una sola vía, 10 circuitos para llamadas virtuales de dos vías y 6 circuitos para llamadas salientes de una sola vía. Los números asignados a los circuitos solamente tienen significado local; en efecto, al solicitar a la red una interconexión para una llamada saliente, el ETD llamante asigna un número en la parte alta el cual se conserva durante todo el intercambio. En el extremo remoto, al recibir la petición (llamada entrante) el ETCD remoto asigna un número en la parte baja a la llamada entrante el cual también se conserva durante todo el intercambio. Si el intercambio es entre circuitos virtuales de dos vías, pudiera ocurrir que los dos números sean iguales, pero esta es una situación cuya ocurrencia es muy remota.

El propósito del nivel de paquete es entonces el de proveer procedimientos para manejar cada uno de los servicios ya señalados, incluyendo los procedimientos para la conexión y desconexión requeridos, además de proveer un control de flujo a fin de que un usuario no sature a otro y que la información fluya en forma oportuna y eficiente. Hay que proveer también medios para el manejo de errores a nivel de paquete, para abortar o renovar una llamada virtual, etc., como veremos más adelante.

Además de los servicios ya mencionados, la Recomendación X.25 ofrece algunos servicios adicionales, denominados Facilidades, que son opcionales para el usuario. Estas facilidades se clasifican como “esenciales” cuando la red está obligada a proporcionarlos si se le solicita, y “adicionales” cuando pueden o no ser ofrecidas por la red.

En el momento de la suscripción a la red el usuario puede seleccionar otros parámetros como, por ejemplo:

En el Nivel de Capa Física: Velocidad de transmisión y tipo de interfaz; por ejemplo, X.21, X.21bis o V.35.

En el Nivel de Capa Enlace:

N1: número máximo de octetos por trama; normalmente 135 octetos.

N2: número máximo de veces que una trama puede ser transmitida y retransmitida en un enlace dado; normalmente 20 veces.

T1: tiempo máximo (time-out) que el transmisor debe esperar un reconocimiento antes de iniciar los procedimientos de recuperación de tramas; ajustable.

K: número máximo de tramas que se pueden enviar sin esperar reconocimiento; normalmente 7 tramas.

En el Nivel de Capa Red, además de los servicios de llamadas virtuales, se ofrece también Tamaño de Ventana (W), Tamaño Máximo del Paquete, Velocidad de Tráfico (throughput), Reconocimientos Local y Remoto, etc.

Las facilidades ofrecidas en X.25 se describen en la Recomendación X.2.

#### 4.4.4. Formato de los Paquetes X.25

En la Recomendación X.25 se define 17 tipos diferentes de paquete: paquetes para datos, paquetes para control de flujo, paquetes de supervisión, etc., cada uno identificado con un código particular. En general, como se muestra en la Capa Red de la Fig. 4.26, un paquete está formado por un Encabezado de tres octetos y un campo Información cuya longitud depende del tipo de paquete. Vamos a describir solamente algunos de los paquetes para conocer su estructura; para los otros paquetes, el lector interesado puede consultar el Libro Azul del UIT-T.

##### Paquete de Datos

Como todos los paquetes X.25, los dos primeros octetos son comunes a todos. El primer octeto, Fig. 4.28, contiene (dígitos 8 al 5) el IDENTIFICADOR DEL FORMATO identificado con los dígitos Q, D, X y Y. Este campo indica el formato general del paquete: Datos, Control, Módulo 8, Módulo 128, etc. El significado de los dígitos es el siguiente:

Q = Dígito Calificador (Qualifier Bit). Se utiliza para diferenciar entre dos tipos de información, por ejemplo, entre datos de usuario e información de control. Para tráfico normal Q = 0. Para otro nivel de tráfico Q = 1. Se aplica también en los PAD.

D = Dígito de Confirmación de Entrega (Delivery Confirmation Bit). Se utiliza para indicar si el ETD desea o no recibir confirmación de los paquetes mediante un RR o un RNR que contienen el número de secuencia P(R).

XY = 01. Codificación utilizada para informar que los números de secuencia P(R) y P(S) son de tres dígitos: (8, 7, 6) y (4, 3, 2), respectivamente; estos números van en el octeto 3. En este caso se puede contar hasta 7 paquetes consecutivos.

Define al Módulo 8.

XY = 10. Codificación utilizada para indicar que los números P(R) y P(S) son de 7 dígitos y pueden contar hasta 127 paquetes consecutivos. En este caso, en vez de necesitarse un octeto, como se muestra en la Fig. 4.28, se necesita dos octetos, 3 y 4, para acomodar los números de secuencia P(R) y P(S) más los dígitos M y D/C. Define al Módulo 128.

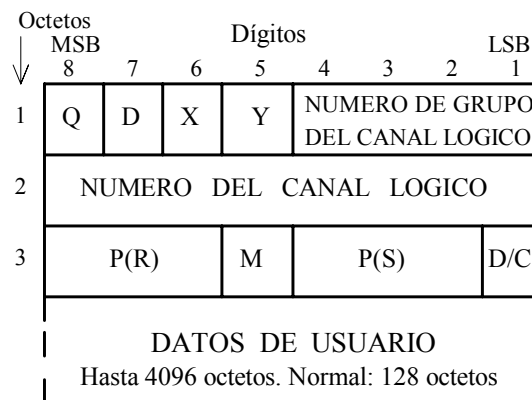


Fig. 4.28. Formato del Paquete de Datos X.25

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

En el primer octeto (dígitos 1 al 4) y en el segundo octeto de todos los paquetes, Fig. 4.28, se tiene el NUMERO DE GRUPO DEL CANAL LOGICO y EL NUMERO DEL CANAL LOGICO, los cuales permiten el establecimiento de las llamadas virtuales y la asignación de un número a cada una de las llamadas. En total son 12 dígitos con los cuales se puede asignar hasta  $2^{12} - 1 = 4095$  números de canal sobre un enlace LAPB.

En el octeto 3, Fig. 4.28, se tiene los siguientes campos:

P(R) = Número de Secuencia de Recibo. Indica el número de paquetes recibidos en un ETD.

Este número se envía solamente en los paquetes de Datos, RR, RNR y REJ. En Modulo 8 tiene tres dígitos, mientras que en Módulo 128 tiene 7 dígitos.

M = Más Datos (More Data Bit). Cuando M = 1, se indica que todavía hay más paquetes por transmitir. En el último paquete de una serie, M = 0.

P(S) = Número de Secuencia de Envío. Indica el número de paquetes enviados por un ETD. Este número se envía únicamente en el paquete de Datos. En Modulo 8 tiene tres dígitos, mientras que en Modo 128 tiene 7 dígitos.

D/C = Dígito de Datos/Control (Data/Control Bit). D/C = 0 para paquetes de Datos. D/C = 1 para cualquier otro tipo de paquete.

Por último, en el campo DATOS DE USUARIO se puede transmitir un máximo normal de 128 octetos. Sin embargo, mediante acuerdo con la red, se puede tener las opciones de 16, 32, 64, 256, 512, 1024, 2048 y 4096 octetos.

#### Paquete de Petición de Llamada y Llamada Entrante

En la Fig. 4.29 se muestra el formato de un Paquete de Petición de Llamada y de Llamada Entrante. Los tres primeros octetos son comunes; para estos paquetes en particular el código de tipo de paquete es 0BH.

En el octeto 4 van las direcciones de los ETD llamante y llamado. Estos campos de cuatro dígitos indican el número de dígitos en BCD que aparecen en el campo de direcciones de los ETD llamante y llamado. De acuerdo con la

Octeto	Dígitos							
	MSB 8	7	6	5	4	3	2	LSB 1
1	0	0	0	1	0	0	0	0
2	NUMERO DEL CANAL LOGICO							
3	0	0	0	0	1	0	1	1
4	LONGITUD DIR. ETD LLAMANTE				LONGITUD DIR. ETD LLAMADO			
5	DIRECCION ETD LLAMADO							
	DIRECCION ETD LLAMANTE							
	0	0	Longitud Campo Facilidades					
	FACILIDADES OFRECIDAS							
	CAMPO DE DATOS DEL USUARIO							

Fig. 4.29. Paquete de Petición de Llamada/Llamada Entrante

Recomendación X.21, en estos campos se puede especificar hasta 14 dígitos; por ejemplo, para el número de destino 208243514600 se necesitará 6 octetos en el campo DIRECCION ETD LLAMADO. Los tres primeros dígitos identifican al país y el cuarto

dígito a la red; el resto de los dígitos, de 1 hasta 10, es el número del terminal llamado. El número de Venezuela es el 734.

El siguiente campo es Longitud Campo Facilidades en el cual va el número de octetos presentes en el campo FACILIDADES OFRECIDAS; algunos de estos servicios son negociables entre el usuario y la red. Con los seis dígitos se puede pedir hasta 64 servicios, pero normalmente se ofrece once solamente. Entre estos servicios se tiene: grupo cerrado de usuarios, tamaño de paquete, tamaño de ventana, cargo a destino, Fast Select, etc. Si no se solicita ninguna facilidad, el octeto completo se pone a 00H.

El último campo es el CAMPO DE DATOS DEL USUARIO. La longitud máxima de este campo es de 16 octetos; sin embargo, si el paquete se utiliza en Fast Select, la longitud se puede extender hasta 128 octetos.

Muchas redes pueden aceptar un Paquete de Petición de Llamada sin la dirección del ETD llamante; en este caso la red agrega esta dirección al Paquete de Llamada Entrante antes de ser entregado al destino. Sin embargo, la regla general establece que si la dirección del ETD llamante está presente en el Paquete de Petición de Llamada, ella debe ser la correcta; de lo contrario, la red abortará la llamada.

**Paquetes RR y RNR**

Estos son los paquetes más cortos de X.25 pues son muy utilizados en la transferencia de datos y en el control de flujo. El formato de estos paquetes se muestra en la Fig. 4.30.

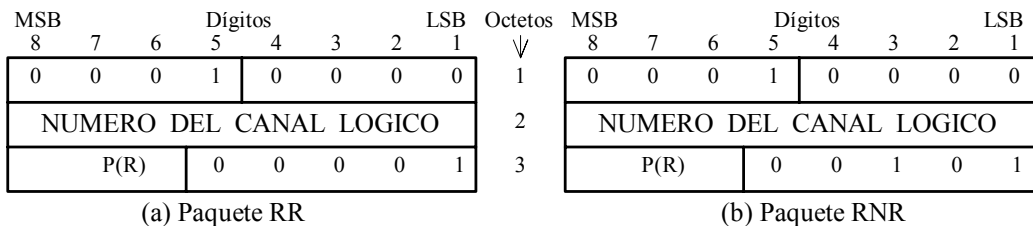


Fig. 4.30. Paquetes RR y RNR en X.25

El paquete RR se utiliza para reconocimientos positivos y el paquete RNR para indicar una condición de “ocupado temporalmente”. Una condición RNR normalmente se despeja con un paquete RR. Estos paquetes se utilizan también en combinación con la “ventana de control” para el control de flujo. El paquete REJECT tiene la misma forma que estos paquetes, con la diferencia de que el código en el octeto 3 es 01001.

**4.4.5. Transferencia de Datos**

La transferencia normal de datos en X.25 consta, como en todos los sistemas ISO/OSI, de tres fases con sus correspondientes primitivas: la fase de establecimiento de la llamada, la fase de transferencia de información y la fase de terminación de la llamada. En el servicio de llamadas virtuales conmutadas se utiliza las tres fases, mientras que en llamadas virtuales permanentes no es necesaria la fase de establecimiento de la llamada.

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

El proceso de transferencia comienza, Fig. 4.31, Módulo 8, cuando el ETD local envía un paquete de Petición de Llamada. En este paquete se especifica el número de canal lógico, las direcciones local y remota y se solicita alguna de las facilidades ofrecidas, por ejemplo, el tamaño de ventana para el control de flujo. Este paquete llega al ETCD remoto como una llamada entrante. El ETCD remoto acepta la llamada, asigna un número de canal lógico al intercambio, negocia el tamaño de la ventana y pasa la información a su ETD el cual emite un Paquete de Llamada Aceptada. Este paquete llega al ETCD local el cual lo pasa a su ETD con el nombre de Paquete de Llamada Conectada. Esto completa la fase de establecimiento de la llamada.

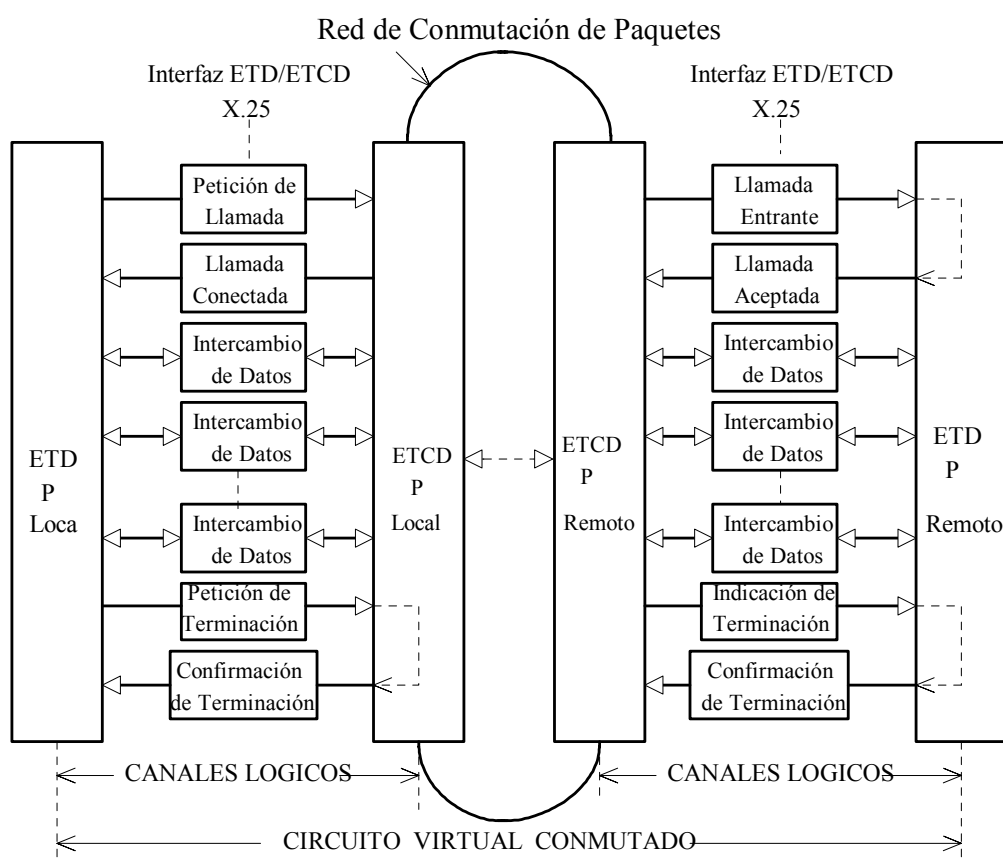


Fig. 4.31. Secuencia Normal en la Transmisión por Paquetes X.25.

Comienza ahora la fase de transferencia de Paquetes de Datos. En X.25 el flujo de paquetes se controla mediante una ventana deslizante que indica el número máximo de paquetes en espera para ser transmitidos; estos números son diferentes de P(S) y P(R). A diferencia del control de flujo en la Capa Enlace en donde se puede enviar hasta 7 tramas consecutivas, en la Capa Red hay una ventana que controla la cantidad de paquetes que se pueden enviar consecutivamente. Más adelante describiremos este mecanismo de control de flujo mediante una ventana. El intercambio de paquetes continúa hasta que, por ejemplo, el ETD Local comienza la fase de desconexión emitiendo un Paquete de Terminación de

Llamada. El ETCD local reconoce de inmediato este paquete con un Paquete de Confirmación de Terminación y en el extremo remoto el ETCD participa a su ETD el fin del intercambio con un Paquete de Indicación de Terminación. El ETD remoto lo reconoce con un Paquete de Confirmación de Terminación y el intercambio finaliza.

#### 4.4.6. Control de Flujo y Recuperación de Errores

En el control de flujo en X.25 se utiliza el mecanismo de ventana deslizante. La ventana es un número  $W$  que indica cuantos paquetes se pueden transmitir sin reconocimiento y que están en espera para ser transmitidos. El valor normal de  $W$  es de 2 pero se puede negociar otro valor en la fase de establecimiento de la llamada. En la Fig. 4.32 se muestra el mecanismo de control de flujo normal para una ventana  $W = 3$ . Con esta ventana se transmite hasta tres paquetes y se espera el reconocimiento; al recibir los tres paquetes el ETD distante envía un RR; con este reconocimiento el ETD local corre la ventana tres posiciones más y el proceso se repite. Un ETCD puede cerrar la ventana con un RNR y la puede reabrir con un RR. Por ejemplo, si en el transcurso de un intercambio un ETCD transmite un RNR a su ETD al recibir el paquete 4 (recibido sin error), el ETD cierra la ventana e interrumpe la transmisión y no la reabrirá hasta recibir un RR de su ETCD. En este caso la nueva ventana incluirá los paquetes 5, 6 y 7.

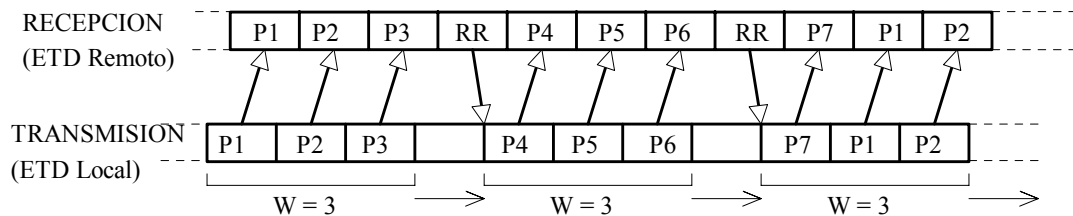


Fig. 4.32. Control de Flujo mediante Ventana Deslizante

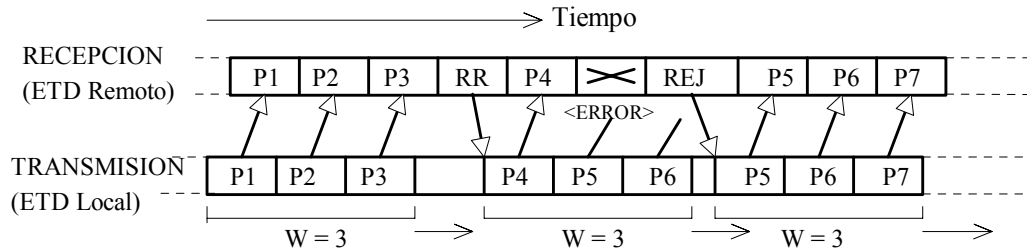


Fig. 4.33. Mecanismo de Recuperación de Error en X.25 ( $W = 3$ )

Veamos ahora cómo se efectúa la recuperación de errores. Consideremos la Fig. 4.33. Si durante la transmisión se detecta un paquete en error o un paquete perdido, por ejemplo, el paquete 5, el ETD remoto transmite un REJ indicando error en dicho paquete; como consecuencia, en el ETD local se cierra la ventana y se abre una nueva ventana para la transmisión de los paquetes 5, 6 y 7, y el proceso continúa. Nótese que el paquete 6 fue transmitido pero fue descartado en la recepción.

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

## ♣ Ejemplo 4.9

En un sistema X.25 el Paquete de Datos contiene 2048 octetos en su campo Datos de Usuario.

- Dibuje la arquitectura completa de la Recomendación UIT-T X.25
- ¿Cuántos paquetes por segundo se pueden transmitir utilizando un Módem V.32/V.42bis?
- Repetir cuando los paquetes se transmiten por una Troncal T1 que transmite a 1544 kbps.

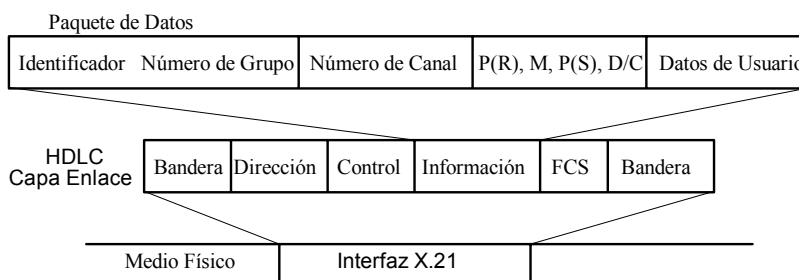
Solución:

En el Paquete de Datos X.25 se le agregan tres octetos de encabezado a los Datos de Usuario, para un total de 2051 octetos en el Paquete de Datos, es decir, 16408 dígitos a nivel de Capa Red. En el nivel de Capa Enlace se le agregan otros seis octetos (dos banderas, dirección, control y FCS) para un total de 2057 octetos, que corresponden entonces a una información  $I_p = 16456$  bits por paquete.

Sea  $V_p$  la velocidad en paquetes/segundo y  $V_i$  la velocidad de transmisión en el medio; se tiene entonces que

$$V_p = \frac{V_i \text{ bits/seg}}{I_p \text{ bits/paquete}} = \frac{V_i}{I_p} \text{ paquetes/segundo}$$

- La arquitectura de la Rec. X.25 tiene la forma



- El Módem V.32/V.42bis transmite a una velocidad  $V_i = 38400$  bps; entonces, la velocidad en paquetes por segundo será

$$V_p = \frac{38400}{16456} = 2,333 \text{ paquetes por segundo}$$

- En una Troncal T1 la velocidad de transmisión es  $V_i = 1544 \text{ kbps} = 1544 \times 10^3$  bps. La correspondiente velocidad en paquetes por segundo será

$$V_p = \frac{1544 \times 10^3}{16456} = 93,826 \text{ paquetes por segundo}$$

♣

## 4.5. LAS RECOMENDACIONES X.3, X.28 y X.29

### 4.5.1. Introducción

Los terminales asincrónicos sencillos, o con un número mínimo de funciones, son incapaces de manejar los protocolos X.25 y no se pueden conectar directamente a una red de conmutación de paquetes con interfaces X.25. Sin embargo, en el UIT-T se ha definido un conjunto de funciones y normas que le permiten a un terminal asincrónico tipo carácter (ETD C) acceder a una red X.25. Las funciones básicas las provee las Unidades PAD, las cuales ensamblan paquetes generados en un ETD C local y desensamblan paquetes recibidos desde la red para entregarlos a un ETD C remoto. Para esta interconexión se ha definido tres normas: X.3, X.28 y X.29, conocidas como “La Triple X”, cuya interrelación se muestra en la Fig. 4.34.

En la Fig. 4.34 se muestra el caso de un conjunto local de ETD C que utilizan un PAD para conectarse a un terminal en modo paquete (ETD P) remoto, y los dominios de aplicación de las Recomendaciones X.3, X.28 y X.29.

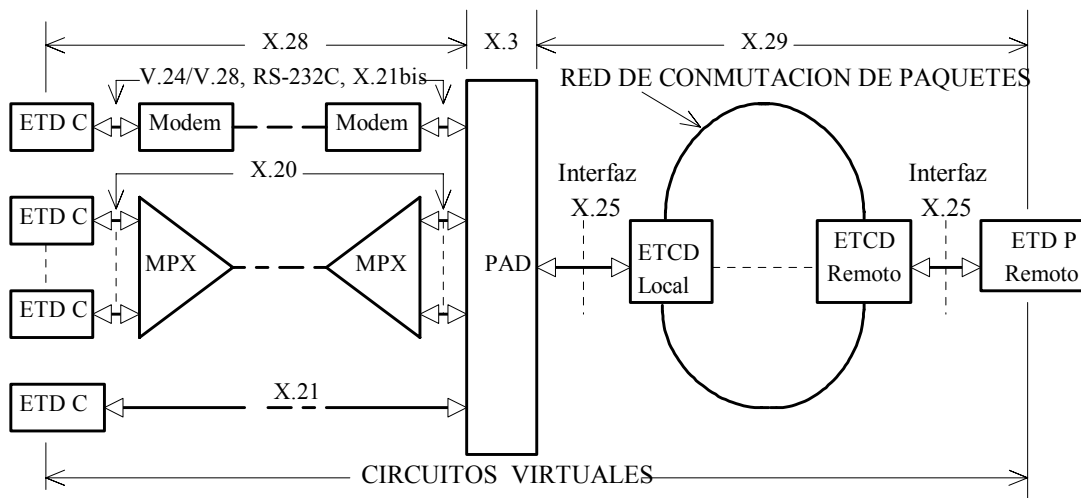


Fig. 4.34. Configuración y Aplicación de los PAD.

Los PAD pueden ser públicos o privados. Un PAD público es propiedad de la red y se puede acceder a él mediante líneas arrendadas o conmutadas. Un ETD C conectado a un PAD público puede iniciar llamadas pero no puede recibir. Los PAD privados pertenecen al usuario y generalmente están dentro de sus predios (“user premises”). Algunos PAD, como el mostrado en la Fig. 4.34, actúan además como multiplexores y pueden aceptar hasta 16 ETD C. Los PAD privados se pueden conectar a la red mediante líneas arrendadas o conmutadas y, a diferencia de los PAD públicos, los ETD C conectados a un PAD privado pueden iniciar y recibir llamadas. Los PAD utilizan los tres primeros niveles OSI en ambas direcciones; hacia el ETD C utiliza el protocolo del terminal utilizado, por ejemplo, la interfaz V.24/V.28/EIA-232D y los protocolos de capa física; hacia la dirección opuesta el PAD utiliza los protocolos X.25.

#### IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

Ahora vamos a describir en forma breve las características de la Triple X.

##### 4.5.2. La Recomendación X.3

En la Recomendación X.3 se describe las características de operación del PAD para un determinado ETD C, por ejemplo, velocidad de operación, edición, control de flujo, etc. mediante la definición de un número de parámetros (22 máximo). El conjunto completo de estos parámetros se denomina “perfil del PAD”.

Entre las funciones básicas de los PAD establecidas en la X.3 se tiene:

- Configuración del ETD C.
- Ensamblaje y Desensamblaje de caracteres en paquetes y viceversa.
- Manejo del establecimiento y terminación de llamadas virtuales.
- Control de los procedimientos a seguir en la interconexión del ETD C y el PAD.

Se provee también una función ESCAPE (ESC) la cual permite que señales enviadas por el ETD C controlen el PAD en vez de ser transmitidas como datos.

##### 4.5.3. La Recomendación X.28

En esta recomendación se especifica los procedimientos a seguir entre el ETD C y el PAD en lo que se refiere a:

- Establecimiento de una trayectoria de acceso de información.
- Intercambio de caracteres y servicios de inicialización.
- Intercambio de información de control.
- Intercambio de datos.

Para poder entrar en la red, el ETD C primero debe ser configurado en forma apropiada. Esto incluye la velocidad de transmisión, la paridad, HDX/FDX, etc. A continuación debe activarse la conexión física ETD C / PAD mediante un carácter ASCII CR (“carriage return”). El PAD responde con su indicador *pad*> significando que el enlace físico está en operación. La interfaz ETD C / PAD queda en la fase de transferencia de datos si se trata de un PVC o en un estado de comando si se trata de un SVC. Una vez en la fase de transferencia de datos o de comando, el ETD C envía una señal de “solicitud de servicio” la cual es interpretada también por el PAD como una indicación de la velocidad de transmisión del ETD C. El PAD responde con una indicación de “enlace activo” y a continuación el usuario debe transmitir un código indicando su identidad, la dirección del ETD P de destino y solicitud de algunos servicios (facilidades) requeridos. El PAD establece una llamada virtual al ETD P remoto y ejecuta la transferencia de datos. Si el ETD C quiere enviar un comando al PAD durante la fase de transferencia de datos, lo puede hacer mediante un carácter DLE (“escape from data transfer”). El PAD sabe entonces que los próximos datos a recibir son para él y no para el ETD P remoto. Con un carácter CR el ETD C vuelve a la fase de transferencia de datos.

Los parámetros del PAD que afectan la transferencia de datos pueden variarse durante la fase de transferencia. Si no se modifican dichos parámetros, los caracteres destinados al ETD P remoto se ensamblan en paquetes y se transmiten sea que el paquete esté lleno, o al recibo de un carácter especial o al final de un tiempo especificado.

El ETD C puede terminar la llamada virtual enviando un DLE al PAD, seguido del comando CLR (“clear” = terminar). Cuando el PAD ha desconectado la llamada virtual, contestará con una confirmación de terminación (“clear confirmation”) y el sistema queda listo para una nueva llamada.

#### 4.5.4. La Recomendación X.29

En esta recomendación se detalla los procedimientos y reglas para el uso de los campos de datos que operan bajo la Recomendación X.25 para la transferencia de datos desde un PAD local hasta un ETD P remoto, y para la interrogación y control de los parámetros del PAD.

El paquete de petición de llamada desde el PAD es similar al del X.25, pero en los cuatro primeros octetos del campo de Datos de Usuario el PAD le dice al ETD P remoto que se está comunicando con un PAD y no con un ETD P. El resto de los octetos (hasta 12) contienen la información que viene desde el ETD C. Durante la fase de transferencia de datos el ETD P remoto puede tener alguna información que debe ser utilizada por el PAD y no por el ETD C; en este caso se hace  $Q = 1$ , donde Q es el dígito calificador del primer octeto. El procedimiento para la terminación de la llamada virtual entre el PAD y el ETD P remoto es el mismo de X.25. En efecto, el PAD envía una “invitación de terminación” y el ETD P remoto responde con una “petición de terminación” a la red, con lo cual se termina la conexión.

En general, el rango de la interrogación y control de los parámetros del PAD en un ETD P es similar al disponible en un ETD C.

#### 4.6. LA RECOMENDACION X.75

La Recomendación X.75 fue emitida por el UIT-T en 1984 para normalizar los procedimientos utilizados para la transmisión de paquetes internacionalmente o entre centrales. Con este protocolo se permite el intercambio de paquetes de datos entre dos ETD a través de diferentes redes de conmutación de circuitos. En la Fig. 4.35 se muestra este tipo de estructura.

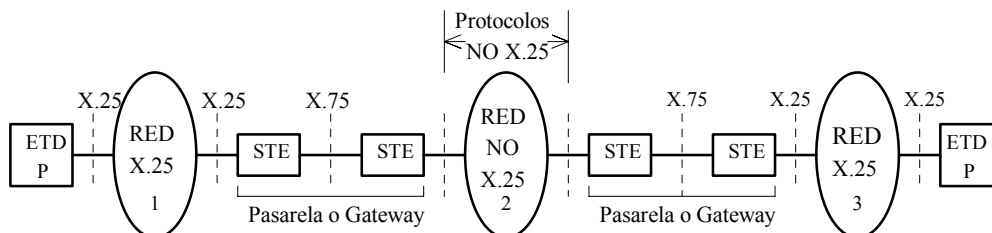


Fig. 4.35. Estructura de la Recomendación X.75 Interred

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

En la Recomendación X.75 se define los protocolos para una pasarela (“gateway”) segmentada (una pasarela es un dispositivo para interconectar redes de diferentes tipos) denominada “terminal de señalización (STE)”, que permite el encadenamiento secuencial de circuitos virtuales a través de redes diferentes, como se muestra en la Fig. 4.35. Una vez establecida la llamada virtual, este encadenamiento virtual se mantiene hasta que uno de los usuarios termina el enlace o cuando falla alguna de las pasarelas.

La información que fluye en el enlace X.75 se puede dividir en tres grupos: control de llamadas, información de control de la red y tráfico del usuario. Asimismo, la configuración de esta recomendación contiene también tres niveles como en el caso de la Recomendación X.25. En la Capa Física se utiliza una interfaz G.703 (que describiremos en conexión con la Red ISDN) y a una velocidad de transmisión de 64 kbps, FDX, sincrónica. Se puede utilizar otras velocidades de transmisión; por ejemplo, en los equipos especificados en la Serie V del UIT-T se puede usar velocidades de 2400, 4800, 9600 y 19200 bps. En la Capa Enlace el protocolo es similar al LAPB de X.25, tanto en Módulo 8 como en Módulo 128. Asimismo, los paquetes de la Capa Red son iguales a los de X.25; sin embargo, ellos contienen un nuevo campo de servicios denominado “Network Utilities Field” para información y señalización de red a red. Este campo puede contener información del tipo siguiente:

- Identificación de la Red en Tránsito. Identifica la red a través de la cual pasa una llamada internacional.
- Identificador de Llamada. Identifica cada llamada virtual establecida.
- Indicación de Clase de Velocidad. Especifica la velocidad máxima de transferencia de datos en el circuito virtual.
- Indicación de Clase de Tráfico. Indica el tipo de aplicación que se efectúa, por ejemplo, facsímil.
- Selección de Tamaño de Ventana. Indica los parámetros de control de flujo aplicables.
- Estimación del Retardo en Tránsito. Indica las características del retardo en la transmisión.
- Tarifación. Utilizado para efectos de administración.

Los procedimientos de control de flujo, recuperación de errores, reconocimientos, etc. son similares a los de X.25 y no los repetiremos aquí.

La Recomendación X.75 está orientada hacia la interconexión de redes X.25 nacionales, pero puede utilizarse para interconectar redes X.25 a través de redes que no son X.25, como se muestra en la Fig. 4.35. Actualmente se utiliza para la interconexión de las grandes redes públicas de datos internacionales que son predominantemente redes X.25.

Las actuales redes de conmutación por paquetes (DATAPAC, TELENET, TRANSPAC, TYMNET, et.) son, en general, sistemas multipunto, sincrónicos, FDX, y con velocidades de transmisión de 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 56000 y 64000 bps. En

Venezuela PDVSA es la pionera en este tipo de sistema pues posee una red en funcionamiento para interconectar todas sus filiales. Hay otras redes en proyecto, tanto privadas como públicas.

La tecnología de las redes de conmutación de paquetes permite una reducción de los costos de utilización de las facilidades de telecomunicación, control centralizado, aumento de la confiabilidad del servicio, reducción del tiempo de implantación y, aún más importante, facilitar el acceso y uso compartido del recurso información.

#### **4.7. EL SISTEMA PACKET RADIO**

##### **4.7.1. Definición**

La versatilidad del protocolo X.25 motivó a un grupo de radioaficionados a experimentar la transmisión de paquetes vía radio; de aquí el nombre de Packet Radio, como se le conoce comúnmente. Los primeros experimentos comenzaron en 1978 y ya para 1980 era muy empleado por la comunidad de radioaficionados. En 1987 ya había sido ampliamente conocido y aplicado hasta convertirse en un estándar de facto, siendo designado con las siglas AX.25 (Amateur X.25), Versión 2.0, por la Liga Americana de Radio Relevos (American Radio Relay League, ARRL).

##### **4.7.2. Configuración del Sistema**

El sistema AX.25 utiliza los mismos protocolos que en X.25, tanto a nivel de Capa Enlace como a nivel de Capa Red. La diferencia principal está en el campo Dirección del formato LAPB que puede contener hasta 70 octetos. Otra diferencia es que el sistema AX.25 es un protocolo no orientado a conexión, pues opera mediante la transmisión por radio de datogramas que se transmiten y retransmiten por una cadena de relevos que puede cubrir grandes distancias geográficas.

La configuración básica del Sistema Packet Radio se muestra en la Fig. 4.36.

La operación del sistema Packet Radio se comprende mejor si observamos su Capa Enlace, es decir, el protocolo LAPB, el cual se muestra en la Fig. 4.37.

En el Modo Normal de operación, para la generación de los datogramas se utiliza un dispositivo denominado controlador de nodo terminal (Terminal Node Controller, TNC) que opera como un PAD asincrónico con funciones adicionales de modulación y demodulación FSK (Módem Tipo Bell 202). En un comienzo los TNC y los transceptores eran equipos separados, pero actualmente se pueden adquirir integrados en una sola unidad y con velocidades que en los equipos más modernos pueden llegar hasta los 19200 bps. Los radioaficionados han establecido toda una red mundial de nodos a fin de extender el alcance de las transmisiones mediante repetidores; estos repetidores son conocidos con el nombre de “**Digipeaters**” y su función es la de recibir y retransmitir los datogramas de estación en estación.

Puesto que el sistema generalmente opera en semidúplex, entre el TNC y el transceptor de radio se dispone de una señal especial denominada PTT (Push-to-Talk) para notificar los cambios de transmisión a recepción y viceversa. Asimismo, con el objeto de controlar la transmisión y evitar que se pueda estar transmitiendo al vacío, es decir, sin un

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

interlocutor al otro extremo, se dispone también de una señal CD (carrier detect) que monitorea la presencia de portadoras en el canal.

En el Modo Normal de operación, para la generación de los datogramas se utiliza un dispositivo denominado controlador de nodo terminal (Terminal Node Controller, TNC) que opera como un PAD asincrónico con funciones adicionales de modulación y demodulación FSK (Módem Tipo Bell 202). En un comienzo los TNC y los transceptores eran equipos separados, pero actualmente se pueden adquirir integrados en una sola unidad y con velocidades que en los equipos más modernos pueden llegar hasta los 19200 bps. Los radioaficionados han establecido toda una red mundial de nodos a fin de extender el alcance de las transmisiones mediante repetidores; estos repetidores son conocidos con el nombre de “**Digipeaters**” y su función es la de recibir y retransmitir los datogramas de estación en estación.

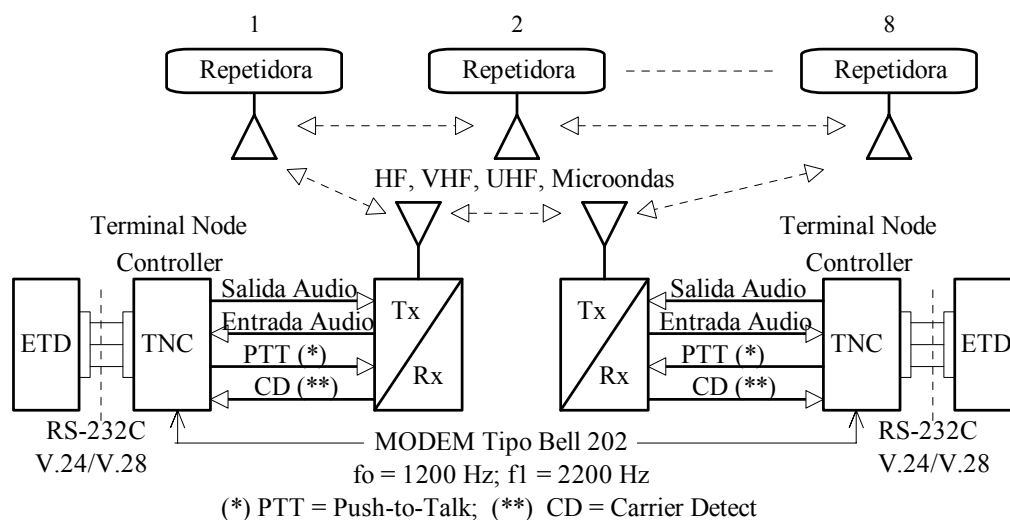


Fig. 4.36. Configuración de un Sistema Packet Radio AX.25.

Puesto que el sistema generalmente opera en semidúplex, entre el TNC y el transceptor de radio se dispone de una señal especial denominada PTT (Push-to-Talk) para notificar los cambios de transmisión a recepción y viceversa. Asimismo, con el objeto de controlar la transmisión y evitar que se pueda estar transmitiendo al vacío, es decir, sin un interlocutor al otro extremo, se dispone también de una señal CD (carrier detect) que monitorea la presencia de portadoras en el canal.

Nótese que la diferencia más notoria respecto al protocolo LAPB de X.25 es la longitud del Campo Dirección, Fig. 4.37; en efecto, la longitud mínima de 14 octetos equivale a una interconexión directa entre el origen y el destino. Si la distancia entre la estación de origen y la estación de destino es muy grande, es necesario utilizar estaciones de relevo cuyo número puede llegar hasta ocho; en este caso el Campo Dirección contendrá 70 octetos.

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

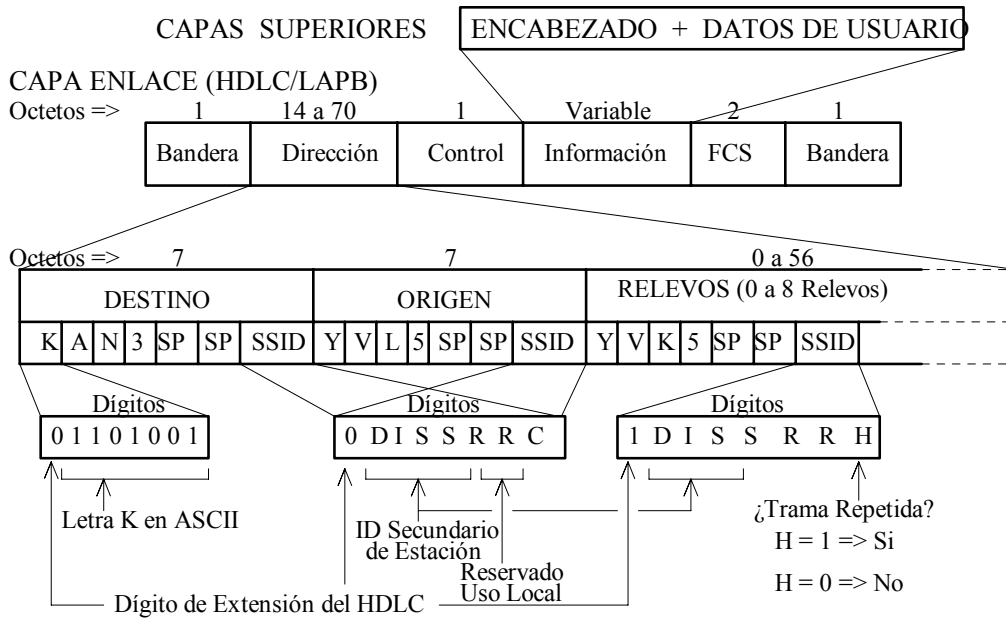


Fig. 4.37. Formato HDLC/LAPB en Packet Radio AX.25.

La trama **UI** (Información no numerada) del Campo Control permite transmitir datos desde una estación sin estar conectada a una estación destino. Como no hay conexión en este momento entre las dos estaciones, no existe detección de errores. Esto significa que no hay garantía que la trama UI haya sido recibida sin errores. Este tipo de trama o datograma se envía para llamados generales (**CQ**), balizas ("beacons"), en discusiones abiertas (conferencias) o cuando no se necesita que haya una corrección de errores en la Capa Enlace.

Además del Modo de Operación Normal, actualmente el sistema Packet Radio puede ser utilizado con paquetes de programa especiales, de los cuales el más conocido es el Programa KISS. Este programa permite la comunicación por la Internet utilizando los protocolos TCP/IP, que describiremos más adelante. Una descripción del programa KISS está fuera de los propósitos de este libro.

## 4.8. LOS PROTOCOLOS TCP/IP

### 4.8.1. Introducción

El Protocolo TCP ("Transmission Control Protocol") y el Protocolo IP ("Internet Protocol"), conforman un conjunto de protocolos desarrollados para permitir a un computador o usuario compartir recursos de comunicación a través de una red o red de redes (Internet). Este conjunto de protocolos fue desarrollado por una comunidad de investigadores, de los Estados Unidos, teniendo como base la red ARPANET. Hay varios protocolos de tipo "Internet", pero TCP e IP son los protocolos más conocidos, y comúnmente se utiliza el término compuesto TCP/IP para denominarlos. En general, estos protocolos ofrecen servicios de transferencia de archivos (FTP), conexión remota ('log in')

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

con otro computador en la red (TELNET), correo electrónico, etc. Pero muchas veces un usuario desea utilizar algunos servicios especiales, tales como sistemas de archivos de red, impresión y graficación remotas, servidores de nombres, servidores terminales, etc. Esto ha llevado a la definición del modelo “cliente/servidor” en los servicios de red. Un “servidor” es un sistema que provee un servicio específico para el resto de la red; mientras que un “cliente” es otro sistema que utiliza ese servicio. Nótese que el servidor y el cliente no necesariamente están en diferentes computadores; ellos pueden ser diferentes programas que se están ejecutando en un mismo computador. Para los servicios cliente/servidor existe en el comercio una gran cantidad de paquetes de programas (software) que se pueden utilizar pero que aquí no vamos ni a nombrar ni a describir.

#### 4.8.2. Descripción general de los Protocolos TCP/IP

TCP/IP es un conjunto de protocolos estratificados que se pueden identificar con las capas correspondientes del Modelo de Referencia ISO/OSI. El protocolo TCP, a nivel de Capa Transporte, es el responsable de que los comandos correspondientes a alguna aplicación, correo electrónico por ejemplo, se transmitan a través de una red; el protocolo TCP vigila qué es lo que se ha enviado y retransmite todo aquello que no pudo llegar al otro extremo. Si un mensaje es muy grande para enviarse en un solo datograma, por ejemplo el texto a transmitir, TCP lo segmenta en varios datogramas y se asegura que ellos lleguen correctamente al extremo receptor. Pero TCP tiene que solicitar servicios provistos por el protocolo IP a nivel de Capa Red. Por su parte, el protocolo IP es el responsable del enrutamiento de los datogramas individuales. En términos más sencillos, TCP le entrega a IP un datograma con una dirección de destino, y el protocolo IP coloca ese datograma en el punto de destino. Nótese que IP no sabe si ese datograma está relacionado en alguna forma con datogramas anteriores o futuros provenientes de TCP.

Podemos ver, a grandes rasgos, que las aplicaciones TCP/IP utilizan cuatro capas:

- Un protocolo de aplicación, por ejemplo, correo electrónico
- Un protocolo como el TCP que provee servicios que se necesitan en muchas aplicaciones. Corresponde a la Capa Transporte ISO/OSI
- Un protocolo IP que provee los servicios básicos para llevar datogramas desde la fuente hasta el destino. Corresponde a la Capa Red ISO/OSI
- Otros protocolos de Capas Enlace y Física necesarios para manejar un cierto medio físico, como, por ejemplo, X.25, ETHERNET (ETHERNET es un sistema que veremos en el Capítulo VI), o una línea punto a punto

Comparado con el Modelo de Referencia ISO/OSI, una aplicación que utilice los protocolos TCP/IP tiene la configuración siguiente, en la cual se utiliza TCP/IP sobre ETHERNET, Fig. 4.38.

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

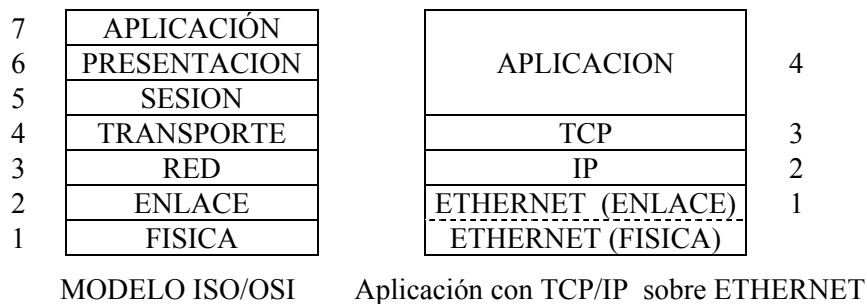


Fig. 4.38. Comparación TCP/IP vs ISO/OSI.

El conjunto TCP/IP opera con una tecnología sin conexión y la información se transfiere como una secuencia de datogramas; cada uno de estos datogramas son enviados individualmente a través de la red. Hay algunas formas para abrir conexiones, por ejemplo, para comenzar una conversación que continuará durante un cierto tiempo; sin embargo, en algún momento la información contenida en estas conexiones necesita ser segmentada en datogramas, los cuales son tratados por la red como entidades independientes. Cuando los datogramas de una misma conexión están en tránsito, la red no sabe si hay alguna relación entre ellos; es perfectamente posible que un datograma que se transmitió primero llegue después de otro que se transmitió posteriormente. Es posible también que por alguna circunstancia un datograma se pierda en la red; en este caso hay que retransmitir el datograma perdido. El conjunto TCP/IP proporciona los medios para la recuperación de la información perdida. La estructura del conjunto TCP/IP se muestra en la Fig. 4.39.

La trama TCP, Fig. 4.39, contiene los campos Números de Puerto de Origen y de Destino y un Número de Secuencia. Los números de puerto se utilizan para controlar las diferentes conexiones, mientras que los números de secuencia se utilizan para asegurarse que el extremo de destino reciba los datogramas en el orden correcto y que no se haya perdido ninguno. Nótese que TCP no numera los datogramas sino los octetos; si cada datograma contiene 500 octetos, el primer datograma de una serie se numerará 0, el segundo datograma se numerará 500, el tercer datograma se numerará 1000 y así sucesivamente. El campo Número de ACK o de Reconocimiento se utiliza para indicar la recepción correcta de los datogramas correspondientes; por ejemplo, si se recibe un número ACK igual a 1500, se está indicando que se ha recibido correctamente 1500 octetos o tres datogramas. Si en el origen no se recibe un reconocimiento después de un cierto tiempo cumplido, se retransmitirá el datograma correspondiente. Los tres siguientes campos (dos octetos) del formato TCP se utilizan para la gestión de la red.

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PROTOCOLOS DE COMUNICACION

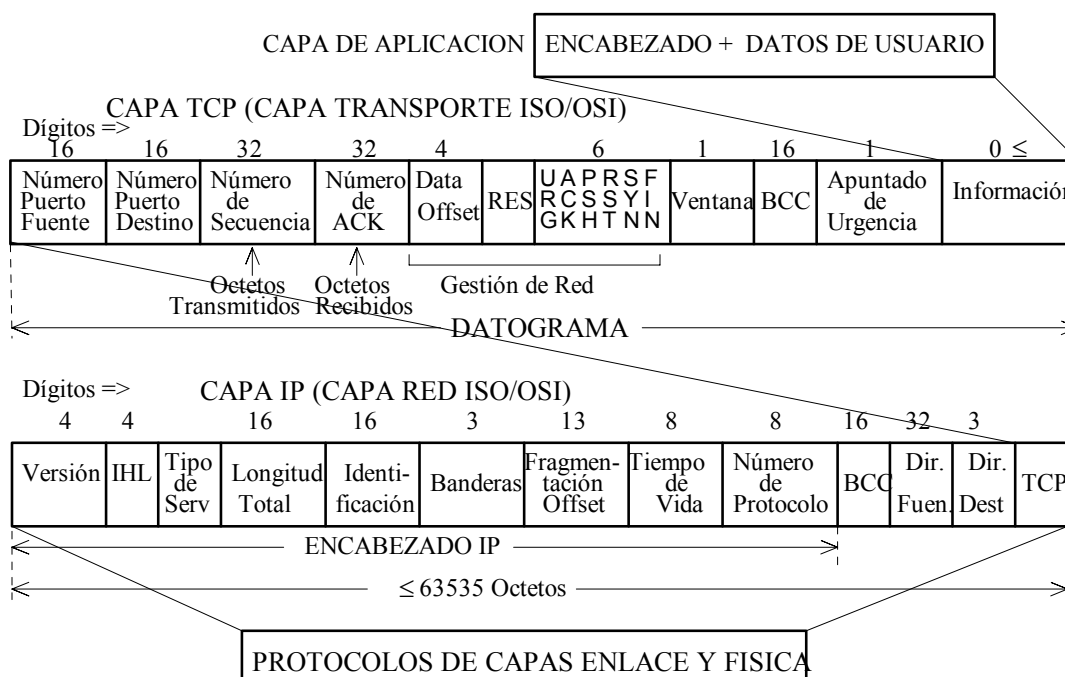


Fig. 4.39. Formatos de los Protocolos TCP/IP.

**El Protocolo TCP**

El protocolo TCP es el responsable de la segmentación del mensaje en datogramas, del reensamblaje correspondiente en el destino, de la retransmisión de los datogramas perdidos y de la reordenación del mensaje para ser entregado al usuario final.

El campo Ventana se emplea para controlar la cantidad de datos que pueden estar en tránsito en un momento dado. En general, no es práctico esperar que cada datograma sea reconocido antes de enviar el próximo, lo que produciría retardos de transmisión; por otro lado, no se puede enviar datogramas indiscriminadamente pues un computador de alta velocidad superaría la capacidad de un computador más lento. Esta situación se resuelve si cada terminal indica su capacidad de recepción de datos colocando en el campo Ventana un valor dado en octetos. A medida que el computador recibe datos, la cantidad indicada en la ventana disminuye, y cuando llega a cero el terminal transmisor debe detener la transmisión. A medida que el terminal receptor procesa los datos, va aumentando el valor de ventana indicando que está listo para recibir más datos. A menudo se puede utilizar un mismo datograma para reconocer recepción de datos y al mismo tiempo especificar en la ventana el valor de octetos apropiado a las condiciones de la interconexión.

El campo Apuntador de Urgencia permite que un extremo le diga al otro saltar a un octeto en particular; a menudo esto es útil para manejar eventos asincrónicos, por ejemplo, cuando se escribe un carácter de control o cualquier otro comando que interrumpe la salida.

### **El Protocolo IP**

En el nivel IP se encapsulan los datogramas TCP con el agregado de numerosos elementos de servicio. De importancia primordial en IP son los campos Dirección Fuente y Dirección Destino, que deben ser direcciones de INTERNET de 32 bits; por ejemplo, la dirección INTERNET del servidor TELNET VOLTA de la Universidad de Los Andes es 150.185.162.18. Estos campos permiten la trayectoria segura de un datograma a través de INTERNET.

El campo Versión indica el tipo de protocolo que se está utilizando. Esto es de utilidad cuando se emite una nueva versión de protocolo, ya que es casi imposible sincronizar el cambio de una versión a otra. El campo IHL indica la longitud del Encabezado IP en incrementos de 32 dígitos. El campo Tipo de Servicio permite a los usuarios especificar la clase de servicio que ellos desearían, pero no hay garantía de que las pasarelas lo tomen en cuenta.

El campo Longitud Total es la longitud total, en octetos, del formato IP. Su valor máximo es de 63535 octetos. El campo Identificación es un número de secuencia, el cual, junto con las direcciones de origen y destino y el protocolo de usuario, identifican unívocamente un datograma.

Los campos Banderas y Fragmentación Offset se utilizan para el seguimiento de los fragmentos cuando un datograma tiene que ser segmentado. Esto puede suceder cuando los datogramas tienen que pasar por una red para la cual ellos son muy grandes. El campo Tiempo de Vida es un número que va disminuyendo cada vez que el datograma pasa por una red. Cuando este número se hace cero, el datograma es desechado. Esto se hace con el fin de que si el datograma cae en un lazo cerrado, él no podrá errar indefinidamente de un lado a otro.

El campo Número de Protocolo indica qué protocolo de capas superiores (Transporte y Aplicación) va a operar sobre el datograma. El campo BCC opera sobre el Encabezado IP para control de error. La verificación de error generalmente no se utiliza en los datogramas, pero en este caso hay que efectuarla pues no se quiere que un datograma en error pueda arribar a un destino no deseado. En IP los datogramas en error son descartados de inmediato y la recuperación del error se deja a las capas superiores.

Esta breve descripción de los protocolos TCP/IP no es suficiente para conocer con profundidad los protocolos utilizados en la INTERNET, pero sí para tener una idea general de cómo operan. Sin embargo, el lector interesado en una descripción más detallada la puede descargar desde INTERNET bajo las palabras claves “internet networking protocols”.

#### **♣ Ejemplo 4.10**

Se va a efectuar una transmisión de la forma TCP/IP/HDLC. De la Capa Aplicación vienen 450 octetos de información. Si la transmisión se efectúa por un canal de 64 kbps, ¿En cuánto tiempo se transmiten los 450 octetos?

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

Solución:

Sea la Fig. 4.39. De la Capa Aplicación bajan 450 octetos =  $8 \times 450 = 3600$  dígitos. En la Capa TCP se le agregan 160 dígitos, para un total en la Capa TCP de 3760 dígitos. Estos 3760 dígitos bajan a la Capa IP en donde se le agregan 160 dígitos, para un total en la Capa IP de 3920 dígitos. Estos 3920 dígitos bajan a la Capa Enlace HDLC en donde se le agregan 48 dígitos, para un total en la Capa Enlace de 3968 dígitos, que corresponden a una información  $I = 3968$  bits en la trama a transmitir.

Si en el canal la velocidad es  $V_i = 64$  kbps, entonces, por definición,  $V_i = \frac{I}{T}$  bps, de donde  $T = \frac{I}{V_i} = \frac{3968}{64 \times 10^3} = 62 \times 10^{-3}$  seg. Los 450 octetos se transmiten en 62 milisegundos.

Si la transmisión hubiera sido por una Troncal E1 que transmite a 2048 kbps, el tiempo de transmisión sería  $T = \frac{3968}{2048 \times 10^3} = 1,938$  milisegundos.

Obsérvese que la velocidad neta de transmisión es  $V_{in} = \frac{8 \times 450}{1,938 \times 10^{-3}} = 1858$  kbps y no 2048 kbps. ♣

#### 4.9. RESUMEN

En este capítulo se describen las funciones principales de las Capas Enlace de Datos y Red del Modelo de Referencia ISO/OSI, y algunos de los principales protocolos tanto de la Capa Enlace como de la Capa Red.

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas y procedimientos que proporcionan una técnica uniforme para gestionar un intercambio de información. Estas reglas y procedimientos proveen la administración, asignación y control de los recursos involucrados en el proceso de intercambio de información.

La Transmisión de Datos tiene que ver solamente con los tres primeros niveles, incluyendo el medio físico de interconexión. Desde el punto de vista de las telecomunicaciones, el conocimiento de las funciones de las tres primeras capas es suficiente para entender, diseñar, operar y mantener los sistemas de comunicación comúnmente utilizados en la práctica.

La Capa Enlace de Datos es la responsable de la interconexión directa, transparente y libre de errores entre dos puntos o entre dos nodos adyacentes dentro de una red. Ella proporciona los medios para activar, mantener y desactivar el enlace de datos. La Capa Red, opera a través de la red (de fin a fin), a diferencia de la Capa Enlace la cual opera de punto a punto o nodo a nodo. La función básica de la Capa Red es la de proporcionar una trayectoria eficiente para el flujo de datos a través de la red; esto implica funciones de direccionamiento, enrutamiento, control de flujo, control de error y “empaquetamiento” de

la información desde un nodo de entrada a la red (nodo de origen) hasta un nodo de salida de la red (nodo de destino).

En este capítulo se revisan algunos parámetros de la transmisión digital de señales como, por ejemplo, los códigos, los modos de operación asincrónica y sincrónica, transmisión semidúplex y full dúplex, y se hace una breve introducción a los protocolos de comunicación, tanto de Capa Enlace como de Capa Red.

Se establece la clasificación básica de los protocolos de Capa Enlace en Protocolos por Control de Caracteres (Character-Oriented Protocols), Protocolos de Control por Conteo de Octetos (Byte-Count Protocols) y Protocolos de Control por Dígitos (Bit-Oriented Protocols).

De los Protocolos de Control por Caracteres se describe el Protocolo BSC de la IBM, sus caracteres de control, las diferentes tramas, los mecanismos de transmisión, las formas de control de flujo y recuperación de error, y el procedimiento para asegurar la transparencia de los datos. Asimismo, se describe las características de los protocolos Xmódem y Ymódem utilizados para la transferencia de archivos.

Como ejemplo de un Protocolo por Conteo de Octetos se describe el protocolo DDCMP, de la DEC. Se describe la configuración del Formato DDCMP, con la mayoría de los mensajes de Información, Control y Supervisión, y el mecanismo básico para el intercambio de datos.

Los Protocolos de Control por Dígitos son los protocolos a nivel de enlace más utilizados. Se estudia con cierto detalle los protocolos SDLC y HDLC de gran aplicación en los sistemas de transmisión de datos. En particular se describen los formatos y los mecanismos para control de flujo y recuperación de error.

Los Protocolos a nivel de Capa Red se estudian desde el punto de vista de la Transmisión Digital por Conmutación de Paquetes y la Recomendación X.25 del UIT-T. Se revisan las características más importantes de la Recomendación X.25 y aquellas otras recomendaciones que tienen relación con ella: la Triple X y la Recomendación X.75.

Finalmente se da una breve descripción de los Protocolos TCP/IP, de sus principales aplicaciones y de los formatos de Capa TCP (Transporte ISO/OSI) y la Capa IP (Red ISO/OSI).

#### **4.10. CUESTIONARIO**

1. ¿Qué es un Protocolo de Comunicación?
2. ¿Cuáles son las Capas ISO/OSI involucradas en la Transmisión de Datos?
3. Se dice que la Capa Enlace opera de punto a punto mientras que la Capa Red opera de fin a fin. ¿Qué significa esto?
4. Describa lo que es operación sincrónica y asincrónica

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

5. El siguiente mensaje está en Código ASCII, asincrónico, sin dígito de paridad y el dígito de par es de dos intervalos. La flecha indica el sentido del flujo de datos. El LSB se transmite de primero. ¿Qué significa el mensaje?

←010110011101010011110010011111010010111100010011110100001111

6. El siguiente mensaje está en Código ASCII, sincrónico, la trama es como la de la Fig. 4.3. ¿Qué significa el mensaje?

←0110100011010010000001010101001100110000010010000

7. Se tiene el número [7CE] escrito en hexadecimal. Escríbalo ahora en Decimal y en Binario
8. Diga algunos de los procedimientos de los Protocolos de Control a nivel de Enlace
9. Dibuje una configuración multipunto con una Estación Primaria y cuatro Estaciones Secundarias Remotas. Los enlaces son por radio. ¿Cuántas frecuencias son necesarias en operación semidúplex y full dúplex?
10. ¿Qué es un Protocolo de Control por Caracteres?
11. ¿Cuáles son las características de control en el Protocolo BSC?
12. Diga la diferencia entre “Polling” y “Selecting”
13. Sea la Fig. 4.8(a), donde  $n = 256$ ,  $m = 16$  y  $BCC = 16$ .
- (a) La transmisión se hace por un módem V.32bis. ¿En cuánto tiempo se transmite una trama BSC?
- (b) Si la duración de la transmisión de la trama debe estar entre 850 y 950 milisegundos, ¿Qué Módem de la Serie V se puede elegir?
14. ¿Cómo se efectúa la verificación de error en el Protocolo BSC?
15. En BSC, en los reconocimientos positivos se contesta con ACK 0 ó ACK 1. ¿Cuándo se utiliza uno u otro?
16. En BSC, ¿Cómo se efectúa la fase de transferencia de datos tanto en polling como en selecting?
17. ¿Cómo se asegura la transparencia de datos en el Protocolo BSC?
18. Cómo se verifica el control de error en BSC y en X módem?
19. ¿Qué es un Protocolo de Control por Conteo de Dígitos?
20. Dibuje el formato de trama del Protocolo DDCMP y describa cada uno de los campos que lo constituyen
21. ¿Qué es un Protocolo de Control por Dígitos?
22. Diga algunas diferencias entre los protocolos SDLC y HDLC
23. Dibuje el formato de trama del Protocolo HDLC y describa cada uno de los campos que lo constituyen

## IV. CAPAS ENLACE Y RED. PTOTOCOLOS DE COMUNICACION

24. Describa las funciones de las diferentes tramas del Protocolo HDLC de acuerdo con el contenido del Campo de Control
25. El contenido del Campo de Control de una trama HDLC dada tiene la forma 00011110 (el LSB está a la izquierda). Diga toda la información referente a la trama
26. Explique en qué consisten los modos de operación NRM, ARM y ABM
27. ¿Cómo se verifica el control de transparencia en HDLC?
28. Una trama HDLC/LAPB de X.25 tiene la forma siguiente:  
0111111010000001111110011010111111101101111110  
(a) Diga toda la información contenida en esta secuencia de dígitos binarios  
(b) Esta secuencia no está protegida para asegurar la transparencia. Haga lo que corresponde de acuerdo con la Pregunta 27
29. ¿Cómo se efectúa el Control de Flujo y la Recuperación de Error en HDLC? (Estudie con atención la Fig. 4.12)
30. Describa las funciones básicas de la Capa Red
31. Explique el mecanismo de la Transmisión Digital por Conmutación de Paquetes
32. Describa algunas de las características de las Redes de Conmutación de Paquetes
33. ¿En qué consiste los Servicios de Llamadas virtuales?
34. Explique los aspectos generales de la Recomendación X.25. En particular, estudie con atención las Figs. 4.24, 4.25 y 4.26.
35. Describa las categorías y modos de asignación de canales lógicos en X.25
36. Describa los campos que constituyen el Paquete de Datos X.25
37. El campo Datos de Usuario de un Paquete de Datos X.25 contiene 256 octetos y la trama HDLC/LAPB se transmite en 220,83 milisegundos. ¿Cuál es el valor de la velocidad de transmisión, en bps, en el canal? Si la velocidad de transmisión es de 56 kbps, ¿En cuánto tiempo se transmite la trama?
38. Describa las tres fases de la secuencia normal en la Transferencia de Datos X.25, en el servicio de llamadas virtuales conmutadas
39. Describa los mecanismos de control de flujo y recuperación de error en X.25
40. Describa brevemente la Recomendación X.75 y el conjunto de normas UIT-T conocido como “La Triple X”.
41. ¿Qué es Packet Radio? Dibuje la configuración física de un Sistema de Packet Radio y describa las funciones de cada elemento
42. Describa el formato de trama HDLC/LAPB en Packet Radio X.25
43. ¿Qué son los Protocolos TCP/IP? Describa las capas utilizadas en las aplicaciones TCP/IP; en particular, estudie cuidadosamente la Fig. 4.39.