

3

*t*écnicas de transmisión de la información

3.1 Definiciones básicas	118	3.5.3 Medidas de la compresión de datos	137
3.1.1 Definición de byte	118	3.5.4 Esquemas usados para comprimir conjuntos de datos	139
3.1.2 Definición de palabra	118	3.5.5 Nociones sobre las técnicas de compresión de datos	139
3.1.3 Concepto de bloque	119		
3.2 Medidas de la velocidad en la transmisión de información	119	3.6 Modos de transmisión: serie y paralelo	142
3.2.1 Definiciones	119	3.6.1 Introducción	142
3.3 Relación entre ancho de banda y velocidad de modulación	127	3.6.2 Transmisión en modo paralelo	143
3.3.1 Definición de tasa de errores	127	3.6.3 Transmisión en modo serie	144
3.3.2 Relación entre la tasa de errores y el ancho de banda	128	3.6.4 Transmisión asincrónica	147
3.4 Transmisión multinivel	131	3.6.5 Transmisión sincrónica	149
3.4.1 Necesidad de la transmisión multinivel	131	3.7 Tipos de transmisión	151
3.4.2 Relación entre velocidad de modulación y velocidad de transmisión	131	3.7.1 Canal de comunicaciones	151
3.4.3 Dibits	132	3.7.2 Los distintos tipos de transmisión	152
3.4.4 Tribits y cuadribits	134	3.8 Protocolos de comunicaciones	153
3.5 Compresión de datos	136	3.8.1 Arquitecturas de comunicaciones	153
3.5.1 Introducción	136	3.8.2 Protocolos de enlace de comunicaciones	158
3.5.2 Definición de compresión de datos	137	3.8.3 Clasificación de los protocolos de enlace	160
		3.8.4 Protocolos orientados al carácter y protocolos orientados al bit	162
		3.8.5 Protocolos orientados al carácter	163
		3.8.6 Protocolos orientados al bit	165
		3.8.7 Clasificación de los protocolos en base al concepto de arquitecturas de comunicaciones	166

3.1 ■ Definiciones básicas

3.1.1 Definición de byte

Dado que muchos sistemas de codificación utilizan 8 bits para codificar un carácter, el concepto inicial que se tiene sobre el **byte** es que siempre se necesita un conjunto de ocho bits para configurarlo.

El código que utilizan las computadoras personales es la causa de que este primer concepto se haya generalizado. Sin embargo, aquí daremos una definición más amplia y consideraremos otros conceptos que, en particular, se usan en los sistemas de transmisión de datos.

Definiremos un byte como sigue:

*b*_{yte}

Número de bits utilizados para representar un carácter en un sistema de codificación dado.

Según esta definición, un byte puede tener un número variable de bits, dependiendo de que se usen cinco, seis, siete, ocho o más bits para representar un carácter.

El byte se suele usar frecuentemente como unidad de medida para indicar la capacidad de almacenamiento de información en memoria o en equipos auxiliares. Así, el número de bytes indica precisamente el número de caracteres que pueden ser almacenados en ellos.

Muchos protocolos de comunicaciones, que no siempre utilizan códigos cuyos bytes son de ocho bits, también suelen indicar la velocidad de transmisión en *bytes por segundo*. Al finalizar una sesión de, por ejemplo, correo electrónico, el sistema suele indicar esta velocidad.

Un hecho importante a tener en cuenta es que cuantos más bits utilice un sistema de codificación dado para representar un carácter, es decir, cuanto más largo sea el byte, mayor será la cantidad de información por carácter y, por lo tanto, mayor el tiempo que se tardará en transmitir, por ejemplo, un texto.

3.1.2 Definición de palabra

En el campo de los computadores se utiliza el concepto de palabra. Definiremos una **palabra** como sigue:

*p*_{alabra}

Número de caracteres (bytes) fijos que un computador trata como una unidad cuando los transfiere entre sus distintas unidades o los somete a distintos procesos, tales como lectura, escritura en memoria, operaciones aritméticas, etc.

En esta definición el término **carácter** incluye letras, números y símbolos especiales o caracteres de control.

El concepto de palabra es en realidad un concepto *típicamente informático*. Muchos fabricantes importantes de equipos informáticos utilizan la

medida de cuatro bytes para formar una palabra, pero también existen los conceptos de media palabra (dos bytes) y de palabra doble (ocho bytes). Así, se puede hablar de máquinas que tienen longitudes de palabra de 12, 24, 36 ó 72 bits (en el caso de códigos de 6 bits por byte), o máquinas de 8, 16, 32 ó 64 bits (en el caso de códigos de 8 bits por byte).

Concepto de bloque 3.1.3

Otro concepto que se suele utilizar muy a menudo es el de **bloque**, y lo definiremos como sigue:

Conjunto formado por algunas decenas de bits que recibe un tratamiento único a los efectos de la transferencia de datos que un computador realiza entre su memoria y los equipos periféricos.

b_{bloque}

También se puede definir de la siguiente manera:

Conjunto de bits que a los efectos de la protección y corrección de errores, es considerado como una sola unidad.

b_{bloque}

Medidas de la velocidad en la transmisión de información ■ 3.2

Definiciones 3.2.1

Velocidad de modulación 3.2.1.1

El concepto de **velocidad de modulación** es típicamente un concepto usado en telecomunicaciones y lo definiremos así:

Inversa de la medida del intervalo de tiempo nominal más corto entre dos instantes significativos sucesivos de la señal modulada¹.

V_{elocidad de modulación}

También se suele definir de esta otra forma:

Inversa del tiempo que dura el elemento más corto de señal, que se utiliza para crear un pulso.

V_{elocidad de modulación}

La velocidad de modulación se mide en **baudios**, tal que:

$$V_m = \frac{1}{T} \quad T = \text{duración del pulso (ancho del pulso)} \quad (3.1)$$

En unidades, resultará;

$$[V_m] = \frac{1}{[\text{seg}]} = [\text{baudio}] \quad (3.2)$$

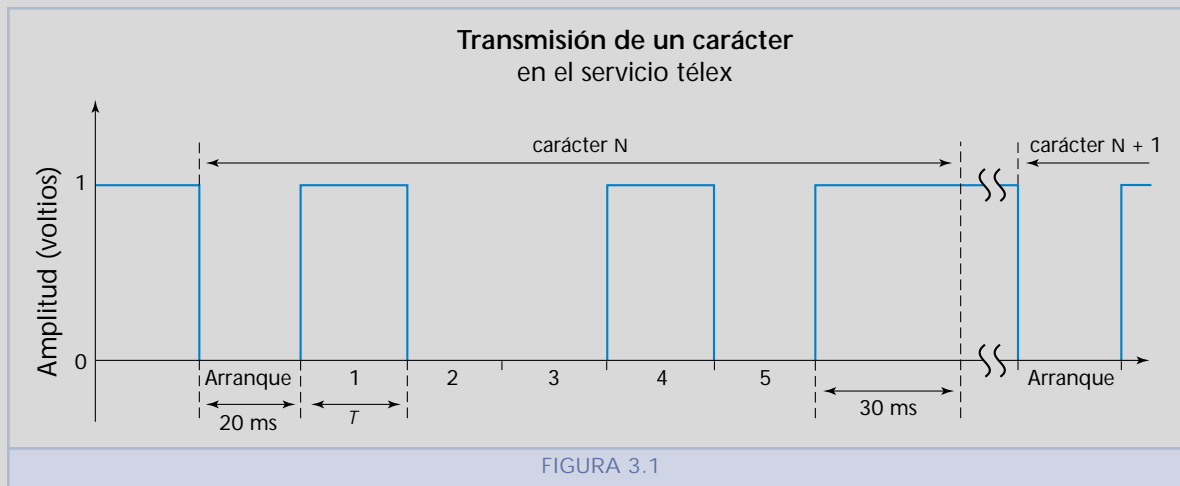
¹ Definición textual que se encuentra en la Recomendación X.15 de la UIT-T.

Con pulsos de señal de igual duración, la velocidad de modulación medida en baudios es el número de dichos pulsos por segundo, o el máximo número de transiciones de estados del canal por segundo.

A la velocidad de modulación también se la suele llamar **velocidad de señalización**. Esta velocidad está relacionada con la **línea de transmisión**¹.

ejemplo 3.1

Una velocidad de modulación típica es la del Servicio Télex, que trabaja en modo asincrónico, a 50 baudios.



La figura 3.1 muestra cómo se transmite un carácter (byte) en este servicio. En efecto, para el ejemplo de la figura 3.1, resultará:

$$V_m = \frac{1}{20 \text{ ms}} = \frac{1}{0,02 \text{ s}} = 50 \text{ baudios} \quad (3.3)$$

En este ejemplo, la transmisión télex se efectúa usando el Código Baudot, donde las señales de datos y de arranque tienen una duración de 20 ms y la de parada de 30 ms.

3.2.1.2 Velocidad binaria o velocidad de transmisión

El concepto de **velocidad binaria** y el de **velocidad de transmisión** son en general motivo de cierta controversia. La UIT-T en su Libro Rojo, Tomo X, Fascículo X.1, Términos y definiciones, Unión Internacional de Telecomunicaciones, define:

¹ Ver capítulo 1, apartado 1.5.4.

municaciones, Ginebra, 1985, define solamente lo que denomina **velocidad binaria**.

Sin embargo, muchos autores prefieren utilizar la expresión **velocidad de transmisión**. A pesar de que las definiciones son diferentes, a nuestro criterio los conceptos son equivalentes.

La Recomendación R.140 de la UIT-T, define la velocidad binaria de la siguiente manera:

Velocidad global de transmisión expresada en bits por segundo.

V *elocidad binaria*

Esta definición no parece demasiado clara, por lo que a continuación daremos la que llamaremos **velocidad de transmisión**.

En un canal de datos, se denomina velocidad de transmisión al número de dígitos binarios transmitidos en la unidad de tiempo, independientemente de que los mismos lleven o no información.

V *elocidad de transmisión*

La velocidad binaria o de transmisión se mide en **bits por segundo, bps**. Esta velocidad está relacionada con el **circuito de datos**¹.

En las transmisiones asincrónicas², este concepto carece de sentido porque la separación entre caracteres puede ser variable. Es por ello que en este tipo de transmisiones es recomendable utilizar solamente la noción de velocidad de modulación, dado que ésta no tiene en cuenta la separación entre caracteres ni tampoco los bits de arranque y parada.

La velocidad binaria o de transmisión se usa entonces en los sistemas sincrónicos. En ese caso, si las transmisiones no son del tipo multinivel³, ambas coinciden.

Para un enlace de m canales, y de n niveles, la velocidad de transmisión será:

$$V_t = \sum_{i=1}^{i=m} \frac{1}{T_i} \log_2 n_i \quad (3.4)$$

donde:

m es el número de canales que transmiten en paralelo.

T_i es la menor duración teórica de un elemento de señal, expresada en segundos, para el i -ésimo canal.

n_i es el número de estados significativos de la modulación del i -ésimo canal.

Formas particulares de la fórmula de la velocidad binaria o de transmisión 3.2.1.3

A fin de poder obtener posteriormente importantes conclusiones sobre estos conceptos, analicemos algunos casos particulares:

¹ Ver capítulo 1, apartado 1.5.5.

² Ver apartado 3.3.4 de este capítulo.

³ Ver apartado 3.4 de este capítulo.

- Para un solo canal que transmita en el modo serie, la expresión, al ser $m = 1$, quedará simplificada de la siguiente manera:

$$V_t = \frac{1}{T} \log_2 n = [\text{bps}] \quad (3.5)$$

- En el caso de que la modulación sea binaria, es decir, $n = 2$, la expresión podrá simplificarse aún más y quedará:

$$V_t = \frac{1}{T} \quad (3.6)$$

Esta expresión coincide con la correspondiente a la de velocidad de modulación, por lo que en este único caso particular ambas velocidades poseen la misma expresión.

- Para el caso de modulaciones de cuatro, ocho y dieciséis estados significativos, resultan, de acuerdo con la expresión (3.4):

$$\log_2 4 = 2, \quad \log_2 8 = 3, \quad \log_2 16 = 4 \quad (3.7)$$

Luego la velocidad de transmisión para dichos estados será:

$$V_t = 2 \frac{1}{T}; \quad V_t = 3 \frac{1}{T}; \quad V_t = 4 \frac{1}{T} \quad (3.8)$$

3.2.1.4 Relación entre la velocidad binaria o de transmisión y la velocidad de modulación

Para establecer una relación entre ambas velocidades, recordemos la expresión (3.2), que nos da la velocidad de modulación:

$$V_m = \frac{1}{T} \quad (3.9)$$

Entonces, reemplazando en 3.8 resultará:

$$V_t = 2|V_m|; \quad V_t = 3|V_m|; \quad V_t = 4|V_m| \quad (3.10)$$

A partir de estas expresiones se deduce que al aumentar el número de estados significativos de la señal es posible aumentar la velocidad binaria o de transmisión sin aumentar la velocidad de modulación.

Veamos dos ejemplos:

ejemplo 3.2

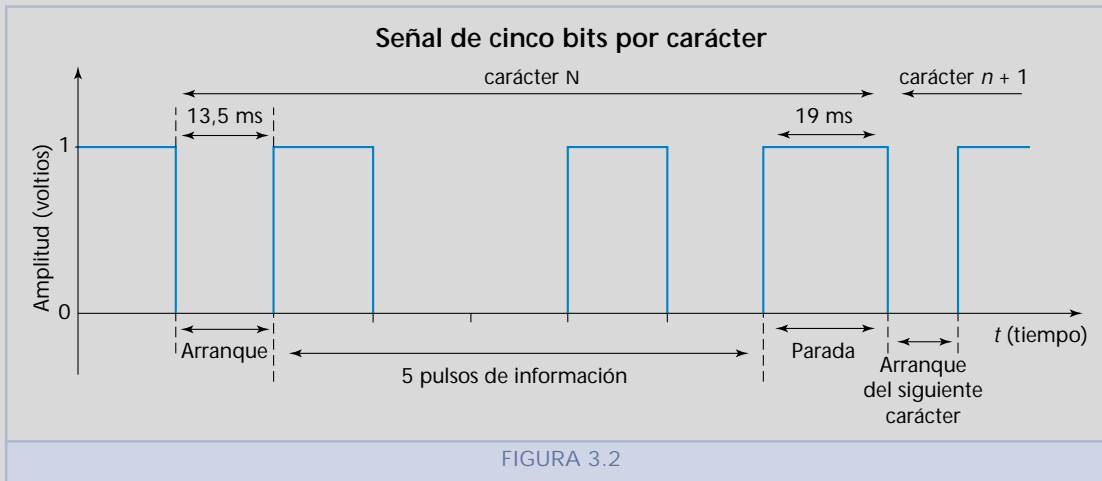
Estudiar una señal que utiliza un código de 5 bits por carácter, con un impulso de arranque y otro de parada.

En la figura 3.2 se detalla la señal considerada, donde puede observarse la duración de cada uno de los pulsos utilizados.

Para conformar cada carácter se utilizarán:

- 1 pulso de arranque (13,5 ms).

- 5 pulsos de información (13,5 ms).
- 1 pulso de parada (19 ms).



Se puede observar que el tiempo total de transmisión de un carácter es de 100 ms.

El régimen en bps sería:

$$\frac{7 \text{ bits}}{100 \text{ ms}} = 70 \text{ bps} \quad (3.11)$$

Por otra parte, se puede observar que la velocidad de modulación será:

$$\frac{1}{13,5 \text{ ms}} = 74,07 \text{ baudios} \quad (3.12)$$

La velocidad de modulación depende sólo de la duración del pulso de información más corto, en este caso 13,5 ms.

Sin embargo, en este caso, el régimen de 70 bps es un dato no representativo, dado que no se tiene en cuenta la separación entre caracteres, que puede ser de duración variable.

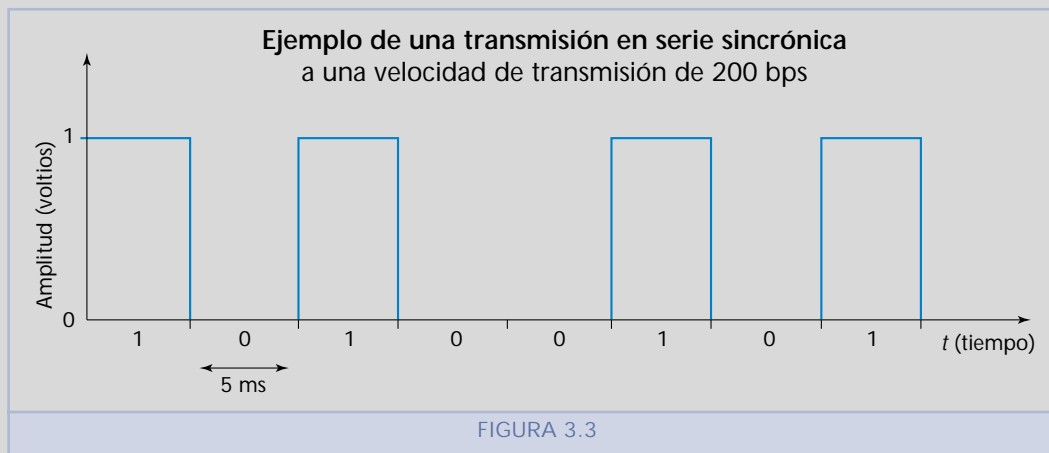
Se debería entonces usar la velocidad de transferencia de datos, que tiene en cuenta el número medio de bits, caracteres o bloques, etc., transferidos por unidad de tiempo.

Estudiar la señal de una transmisión en serie sincrónica, con una velocidad de transmisión de 200 bps, para $n = 2$, mostrada en la figura 3.3.

ejemplo 3.3

La velocidad binaria o de transmisión será:

$$V_t = \frac{1}{5 \text{ ms}} \log_2 2 = \frac{1}{0,005 \text{ s}} = 200 \text{ bps}$$



En este caso, tal como se expresó, la velocidad de modulación será:

$$V_m = \frac{1}{0,005 \text{ s}} = 200 \text{ baudios}$$

De donde se puede apreciar, que para este ejemplo ambas velocidades tienen el mismo valor numérico.

3.2.1.5 Velocidad de transferencia de datos

Se puede definir un concepto de velocidad que se encuentra relacionada con el **enlace de datos**¹ y se refiere a los bits que contienen exclusivamente información. Ésta se denomina **velocidad de transferencia de datos**² y se define así:

*V*elocidad de transferencia de datos

Número medio de bits por unidad de tiempo que se transmiten entre equipos correspondientes a un sistema de transmisión de datos.

Número de bits transmitidos

$$V_{td} = \frac{\text{número de bits transmitidos}}{\text{tiempo empleado}} \quad (3.13)$$

Normalmente V_{td} se mide en bps (bits por segundo).

Análogamente, si en lugar de bits se consideran bytes, caracteres, palabras o bloques u otra forma de medir la información, y en lugar de medir

¹ Ver capítulo 1, apartado 1.5.5.

² Está definida en la Recomendación X.15 de la UIT-T.

el tiempo en segundos se emplearan minutos u horas, se tendrían valores del tipo:

$$V_{td} = \text{bytes/segundo} \quad \text{o} \quad V_{td} = \text{bloques/hora, etc.}$$

Corresponde siempre señalar entre qué puntos se ha considerado esta velocidad, por lo que debe indicarse los equipos terminales de datos que hacen de fuente o sumidero, o los equipos terminales (módem) o intermedios del circuito de datos.

La velocidad de transferencia¹ de datos se refiere siempre a las señales digitales enviadas por la fuente y recibidas por el colector, por ello se relaciona con los bits que contienen información.

Velocidad real de transferencia de datos 3.2.1.6

Otra definición importante surge cuando se tienen en cuenta los errores de transmisión, si los hubiera; y así se puede definir la llamada **velocidad real de transferencia de datos**².

Se llama velocidad real de transferencia de datos al número medio de bits por unidad de tiempo que se transmiten entre los equipos de un sistema de transmisión de datos, a condición de que el sumidero o receptor de los mismos los acepte como válidos.

*V*elocidad real de
transferencia de datos

Como se puede apreciar, esta definición es exactamente igual a la de velocidad de transferencia de datos, a excepción de que aquí se requiere que se midan sólo los bits, bytes, palabras o bloques, sin errores de transmisión, que han llegado de la fuente transmisora al equipo que está haciendo de sumidero.

Eficiencia del sistema de comunicaciones 3.2.1.7

En muchos casos el administrador de un sistema informático que trabaja en forma remota necesitará calcular el tiempo real que tardarán en realizarse determinadas operaciones ya que éstas pueden estar condicionadas por la disponibilidad de los medios que gestiona.

El ejemplo más simple de entender es el caso de un corresponsal remoto que durante la noche debe transmitir un conjunto de archivos a un computador central, que puede estar disponible para esta tarea, sólo una determinada cantidad de tiempo.

En este caso se necesitará conocer la cantidad de bits a transmitir y la velocidad real de transferencia de datos, pues todas las demás variables sólo dan valores aproximados.

Si se tuviera esos datos, el tiempo a emplear se podría despejar de la ecuación (3.13), es decir:

$$\text{Tiempo a emplear (segundos)} = \frac{\text{longitud del archivo (bits)}}{V_{rtd} \text{ (bps)}} \quad (3.14)$$

¹ En inglés este concepto se denomina “throughput”; siendo actualmente muy utilizado.

² Definida en la Recomendación V.7 de la UIT-T.

Este problema sólo puede resolverse si se dispone de un valor lo suficientemente próximo al de la V_{rtd} . Para obtener dicho valor puede medirse varias veces el tiempo empleado en transmitir un archivo de longitud conocida y luego promediar los valores obtenidos.

Para que este valor aproximado de V_{rtd} sea útil, es conveniente tener en cuenta la hora del día en que se efectuaron las transmisiones, pues las tasas de error pueden variar con ella (generalmente durante la noche las tasas son menores que durante el día).

Por otra parte, puesto que para el cálculo de la velocidad de transmisión se consideran todos los bits transmitidos, tengan o no información, y para el cálculo de la velocidad de transferencia de datos sólo se tienen en cuenta los bits de información transmitidos, está claro que:

$$V_t \gg V_{\text{td}} \quad (3.15)$$

Para transformar esta desigualdad en una igualdad, se deberá agregar al segundo miembro un factor $\alpha \gg 1$, tal que:

$$V_t = \alpha V_{\text{td}} \quad (3.16)$$

Análogamente, mientras que en la velocidad de transferencia de datos se consideran todos los bits de información transmitidos, incluidos los que contienen errores, en la velocidad real de transferencia de datos sólo se consideran los bits transmitidos aceptados como válidos, que sin duda será una cantidad menor.

$$V_{\text{td}} \gg V_{\text{rtd}} \quad (3.17)$$

Luego podremos transformar esta desigualdad en igualdad mediante un factor $\beta \gg 1$, tal que:

$$V_{\text{td}} = \beta V_{\text{rtd}} \quad (3.18)$$

Ahora bien, si en la igualdad (3.16) reemplazamos V_{td} por el valor dado en (3.18), tendremos

$$V_t = \alpha \beta V_{\text{rtd}} \quad (3.19)$$

Y si ahora hacemos $\alpha \beta = \gamma$, tendremos

$$V_t = \gamma V_{\text{rtd}} \quad (3.20)$$

Puesto que la eficiencia de un sistema de comunicaciones, ε , es el cociente entre la velocidad real de transferencia de datos y la velocidad de transmisión, de la expresión (3.20) se deduce fácilmente que ε es la inversa de γ . En efecto:

$$\frac{V_{\text{rtd}}}{V_t} = \frac{1}{\gamma} \quad (3.21)$$

y

$$\varepsilon = \frac{1}{\gamma} \quad (3.22)$$

Sea una transmisión remota que se efectúa con módems de datos que operan a una velocidad de transmisión de 9600 bps. Si se conoce que la velocidad real de transmisión de datos es de 9000 bps, calcular el valor de la eficiencia de la transmisión.

ejemplo 3.4

$$\frac{9000 \text{ bps}}{9600 \text{ bps}} = 0,9375 \quad (3.23)$$

O, lo que es lo mismo, la eficiencia porcentual será igual al 93,75%.

Relación entre ancho de banda y velocidad de modulación ■ 3.3

Definición de tasa de errores 3.3.1

La tasa de errores está relacionada con la cantidad de bits transmitidos de manera errónea en una sesión de transmisión de datos. La transmisión puede ser efectuada a través de medios analógicos o digitales, pero la tasa de errores está referida siempre a la recepción en forma digital de los datos en el sumidero.

Se denomina tasa de errores sobre un equipo terminal de datos, que actúa como sumidero, a la relación entre los bits recibidos de manera errónea respecto a la cantidad total de bits transmitidos.

t asa de errores

La tasa de errores se suele expresar mediante el acrónimo **BER** (del inglés, *bit error rate*)

$$\text{BER} = \frac{\text{bits erróneos recibidos}}{\text{bits transmitidos}} \quad (3.24)$$

A medida que un circuito teleinformático tiene mayor confiabilidad, menor será el valor de la tasa de errores.

Un computador recibe, desde una fuente remota, un total de 20 Mb que corresponden a un archivo y a los datos de control que posibilitaron la transmisión. Si durante la transmisión se produjeron 20 bits con errores, ¿cuál es la tasa de errores, en BER, de esa transmisión?

ejemplo 3.5

$$\begin{aligned} \text{BER} &= \frac{20 \text{ bits}}{20\,000\,000 \text{ bits}} \\ \text{BER} &= 10^{-5} \end{aligned}$$

En la Red Telefónica conmutada, la tasa que se ha calculado en este ejemplo suele denominarse **tasa típica de la red**. Esto significa que se puede prever que se producirá un bit con error cada 100 000 bits transmitidos.

Hoy en día las redes telefónicas están mejorando la calidad de los medios de telecomunicaciones que se usan en la transmisión de información y algunas redes ya tienen tasas típicas de error de 10^{-6} BER.

En las redes de área local, donde las distancias son más cortas y la construcción de las redes es mucho más cuidada, las tasas de errores son marcadamente mejores y del orden de 10^{-8} a 10^{-9} BER.

3.3.2 Relación entre la tasa de errores y el ancho de banda

En el capítulo anterior se dijo que durante el proceso de transmisión las señales sufren tres fenómenos: atenuación, distorsión y ruido. Estos fenómenos son, en última instancia, la causa de los errores de transmisión. En particular, el ruido y el ancho de banda son dos limitantes físicos de todos los sistemas de comunicaciones, ya que éstos tratan de utilizar los medios disponibles en la forma más eficiente, y esto significa que, para un conjunto de datos dado, se emplee la menor cantidad de tiempo posible en su transmisión. Por muchas razones, siempre se intenta que el tiempo de transmisión sea mínima, algunas de ellas son las siguientes:

- Para lograr que el procesamiento de la información sea más eficiente, es necesario que llegue la mayor cantidad de datos por unidad de tiempo.
- Cuando se opera en tiempo real (una conexión a Internet, por ejemplo), los operadores deben esperar una respuesta en el menor tiempo posible (recepción a través de un FTP¹, por ejemplo).
- Finalmente, y quizá la más importante, la mayoría de las comunicaciones se cobran en función de lo que duran, y, por tanto, cuanto menor sea el tiempo de transmisión, menor será su coste.

Por estas y otras muchas razones se busca transmitir a la mayor velocidad posible. Sin embargo, la velocidad está directamente relacionada con el ancho de banda disponible y con el nivel de ruido existente en el canal de comunicaciones que se use; y es precisamente la denominada **velocidad de modulación**, o **velocidad de señalización**, como se la llamaba antiguamente, la que está directamente relacionada con el ancho de banda disponible.

Cuanto mayor es la velocidad de modulación, menor es el periodo T de cada ciclo transmitido; y este tiempo está directamente relacionado con la energía almacenada en el sistema eléctrico que posibilita la transmisión y la resistencia que ésta opone al cambio de la polaridad que se produce en cada ciclo transmitido.

¹ FTP del inglés **file transfer protocol**; protocolo para transferencia de archivos, facilidad que se encuentra a menudo en Internet.

Cuando se fuerza una determinada velocidad de modulación por encima de lo que permite el ancho de banda disponible entonces el canal de comunicaciones reaccionará aumentando la tasa de errores. Así, se puede decir que para cada canal de comunicaciones existe una relación entre tres parámetros que están indisolublemente unidos y relacionados:

- Ancho de banda.
- Tasa de errores.
- Velocidad de modulación.

Si aceptamos que en la mayoría de los casos el ancho de banda está dado por el tipo de canal que se usa, a cada velocidad de modulación le corresponderá una determinada tasa de errores.

Por ejemplo, para el caso típico de un canal telefónico de un ancho de banda de 3,1 kHz, si aceptamos como razonable un BER del orden de 10^{-5} a 10^{-6} , la velocidad queda fijada en el orden de los 2400 baudios. Si aumentáramos la velocidad de modulación, manteniendo constante el ancho de banda, automáticamente aumentará la tasa de errores.

Una universidad tiene todos sus computadores conectados en Red de Área Local (LAN) que a su vez está conectada a un Proveedor de Servicios Internet a través de un enlace digital dedicado, servicio que presta una Empresa de Servicios de Comunicaciones de Datos. La universidad advierte que cuando aumenta el uso de la red, sus enlaces a Internet son más lentos.

¿Cómo se podrá resolver este problema para volver a una situación de igual calidad de servicio? Se supondrá que se ha comenzado contratando un enlace digital dedicado de 64 Kbps (que es normalmente el ancho de banda mínimo¹ que ofrecen las empresas que prestan servicios de datos).

Cuando se observa un aumento en la demora en el uso de la red, y el Proveedor de Servicios Internet es honesto², la solución será sin duda, aumentar el valor del ancho de banda contratado.

Este aumento se deberá hacer simultáneamente con ambos proveedores (si fueran empresas distintas, como sucede en la mayoría de los casos).

Por lo general, este aumento se va haciendo en múltiplos de 64 Kbps, es decir, tomando de la red de transporte, generalmente propiedad de la Empresa de Servicios de Comunicaciones de Datos, sucesivos ancho de banda equivalentes a canales de voz que son usados alternativamente para la transmisión de datos.

Por lo tanto, una primera solución a este problema sería llevar el enlace a 128 Kbps y recontratar con el Proveedor de Servicios Internet servicios a esa nueva velocidad.

ejemplo 3.6

¹ Este ancho de banda es el que corresponde a un canal digital de voz, comúnmente denominado **Canal B**. En los Estados Unidos y Japón se suelen usar canales similares pero de 56 Kbps.

² En términos prácticos eso significará que el Proveedor de Servicios Internet tendrá, en todo momento, capacidad para recibir y transmitir un caudal de 64 000 bps, si ese fue el ancho de banda convenido.

Conexión empresa/proveedor de Servicios Internet

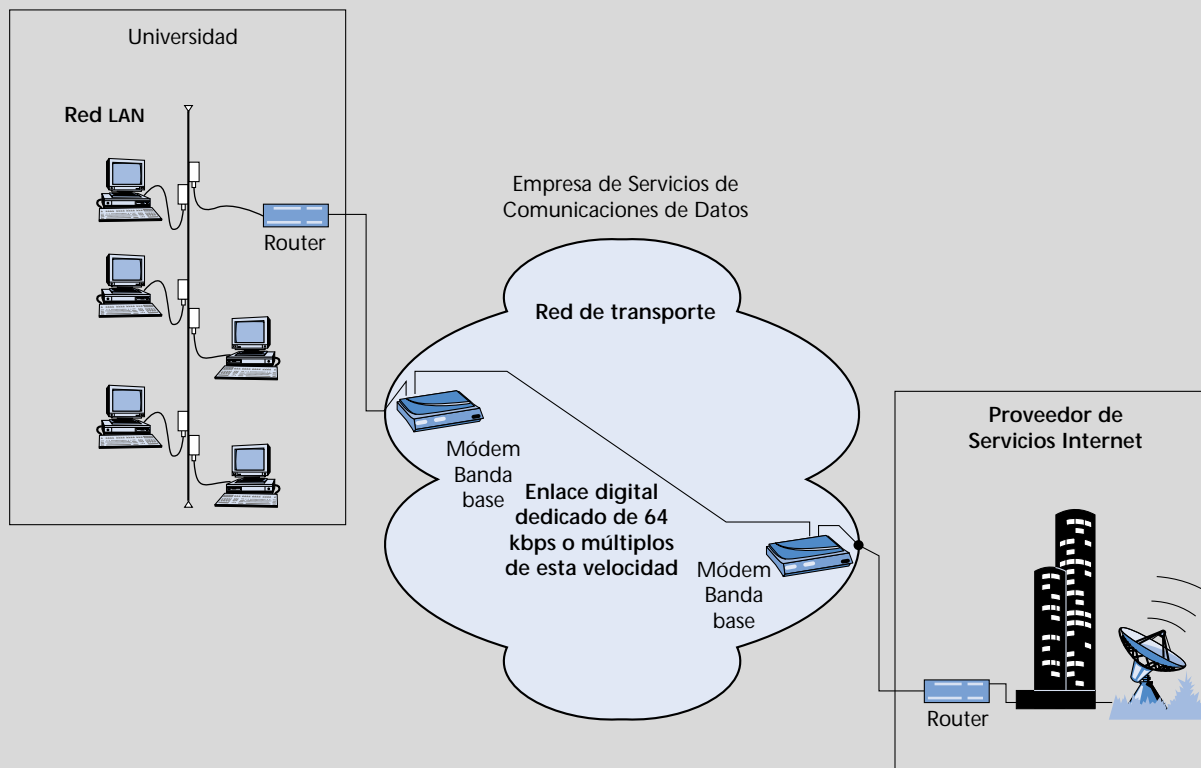


FIGURA 3.4

La figura 3.4 muestra cómo sería la topología de la red de una universidad que tiene sus computadores conectados en Red de Área Local (LAN) y que desea tener conexión de Internet **on line**, mediante un enlace digital con un proveedor de este servicio.

Obsérvese las distintas partes que normalmente intervendrán en esta actividad: **Empresa Usuaria del Servicio**, **Empresa de Servicios de Comunicaciones de Datos** y **Proveedor de Servicios Internet**. También, préstese atención a los equipos que deberán ser instalados: **router**, **módem banda base**, **servidores de red** y **estaciones de trabajo**¹. Más adelante en esta obra, se señalarán sus características con mayor profundidad.

¹ Normalmente computadores personales.

Transmisión multinivel ■ 3.4

Necesidad de la transmisión multinivel 3.4.1

Como ya se ha dicho, un aumento de la velocidad de modulación sin un aumento del ancho de banda hace que la tasa de errores vaya aumentando, y a veces puede llegar a ser tan elevada que hace que la comunicación sea prácticamente inútil.

Es por ello que se han ido explorando técnicas que, sin alterar el esquema físico antes señalado, permitan mejorar sustancialmente la cantidad de información que se puede transmitir por un ancho de banda determinado.

Los dos procedimientos técnicos que se usan son las **transmisiones multinivel** y los **sistemas de compresión de datos**.

También es importante destacar que, sin perjuicio de estas técnicas, un canal se puede hacer más eficiente mejorando el nivel de ruido del mismo, y mediante otras técnicas de transmisión que reciben el nombre de **ecualización de los canales**.

Las ventajas de las primeras son que su uso y aplicación están al alcance de los usuarios, mientras que las segundas, dependen de la voluntad del proveedor de los servicios de transmisión de datos.

Relación entre velocidad de modulación y velocidad de transmisión 3.4.2

Como hemos visto al analizar la relación existente entre velocidad de modulación, tasa de errores y ancho de banda en las transmisiones analógicas, en muchos otros casos se requiere aumentar la velocidad de transmisión sin aumentar la velocidad de modulación para evitar el aumento de la tasa de errores.

Recordando la expresión 3.5, que repetimos aquí, se puede observar que la velocidad de transmisión depende del logaritmo en base dos del número N de niveles que toma la señal.

En efecto,

$$V_t = \frac{1}{T} \log_2 N \quad (3.25)$$

donde N = número de niveles de una señal.

Se denomina transmisión multinivel a aquella en la que el número de niveles que puede tomar la señal es mayor que 2. En el caso en que el número de niveles es 2, la transmisión se denomina binaria.

*t*transmisión multinivel

Recordando la expresión (3.10), cuando el logaritmo de base 2 de N es mayor que uno, la velocidad de transmisión aumenta sin que aumente la velocidad de modulación y, por lo tanto, se podrá transmitir una mayor

cantidad de bits por baudio, aumentando así la eficiencia del canal de comunicaciones.

$$V_t = 2|V_m|; \quad V_t = 3|V_m|; \quad V_t = 4|V_m|$$

Este tipo de transmisión resuelve de forma parcial, pero efectiva, el problema de enviar información a mayor velocidad por un canal de comunicaciones sin tener que aumentar el ancho de banda necesario¹.

Como resultado final se obtiene una relación de bits transmitidos por baudio superior a uno. Veamos cómo se generan las transmisiones multi-nivel.

3.4.3 Dibits

Dado que la cadencia de una transmisión de datos binaria es el número de veces que una señal cambia de nivel, veremos cómo podremos enviar dos unidades de información (bits) mediante un solo cambio de nivel (baudio). Para ello, consideremos que necesitamos transmitir una señal digital como la de la figura 3.5, que, por comodidad, se ha representado en forma unipolar.

Si a los bits de la cadena de información a transmitir los tomamos de dos en dos, es decir, si formamos grupos de dos bits consecutivos, tendremos los siguientes pares:

10	00	11	10	01	01
----	----	----	----	----	----

Como se puede observar, al tomar de dos en dos las señales unipolares binarias, que sólo pueden ser ceros (0) o unos (1), solamente hay cuatro combinaciones posibles, a saber:

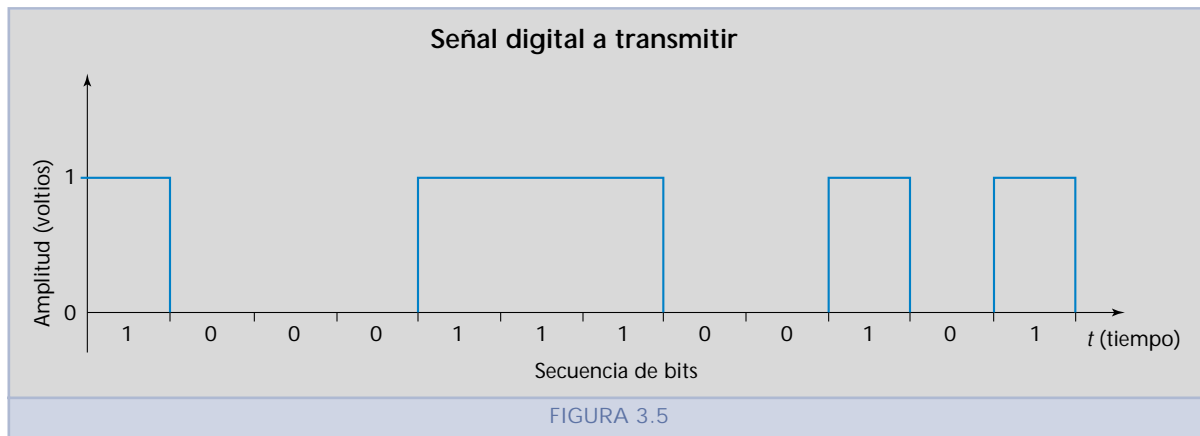
Combinaciones posibles	00	01	10	11
------------------------	----	----	----	----

Si a estos pares de bits le asignamos distintos niveles de la señal, tendremos las relaciones expresadas en el cuadro de la figura 3.6.

Por lo tanto, la secuencia de datos de la señal binaria que se muestra en la figura 3.5 podría transmitirse en la forma que se explica en la figura 3.7. Como se puede ver en esa figura, la velocidad de modulación no varía, pero se transmite el doble de información; en otras palabras, la velocidad de transmisión se duplica sin que la velocidad de modulación cambie, como se desprende fácilmente de la expresión (3.10).

Por razones didácticas, en la figura 3.7 hemos empleado distintos niveles de amplitud, pero también podíamos haber empleado distintos niveles de frecuencia y cambios de fase para cada uno de los dibits transmitidos.

¹ En el capítulo 6 se puede obtener más información sobre este tema.



En la figura 3.8 se puede observar, en primer lugar, un ejemplo de transmisión binaria que utiliza un código en banda base de tipo bipolar y, en segundo lugar, la forma en que se transformaría dicha transmisión en dibits cambiando la amplitud para cada par de bits consecutivos que deba ser transmitido. En la transmisión bipolar original de esta figura se consideraron los siguientes dos niveles (binarios):

@ = +1 voltios y -1 voltios
(dos niveles para la señal binaria, original)

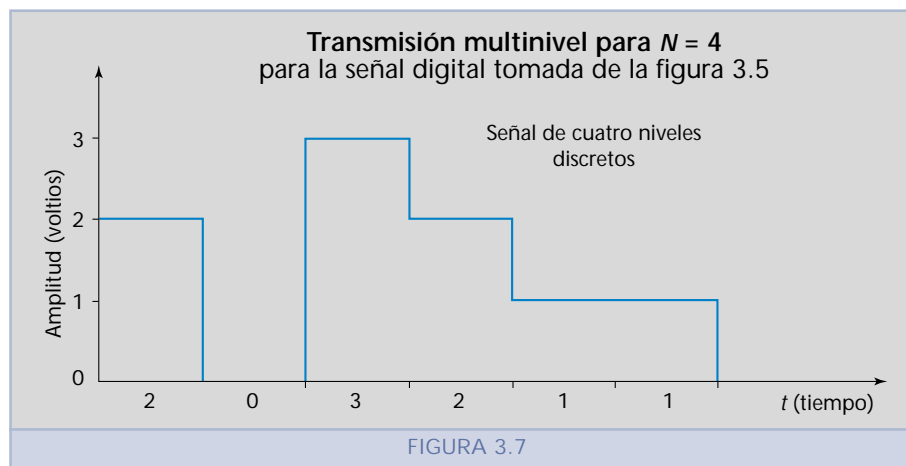
En la conversión a dibits, los cuatro niveles tomados han sido los siguientes:

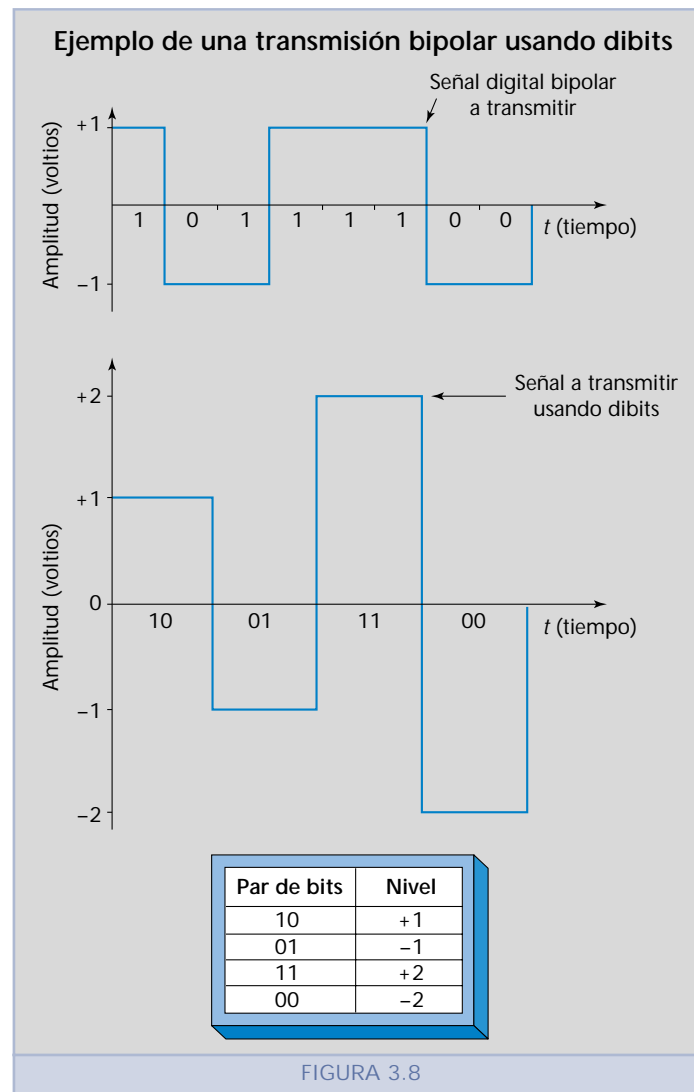
@ = +1 voltio, +2 voltios, -1 voltio y -2 voltios
(Cuatro niveles para la señal multinivel, realmente transmitida)

Pares de bits consecutivos y niveles asignados

Pares de bits a transmitir	Nivel asignado
00	0
01	1
10	2
11	3

FIGURA 3.6





donde los pulsos de la señal multinivel reciben el nombre de dibits (es decir, en cada uno de ellos se envían dos bits de información).

3.4.4 Tribits y cuadribits

De la misma manera, si se quisiera mejorar aún más el coeficiente n de la expresión 3.26, la cantidad de niveles necesarios para enviar **3 bits** en un solo pulso, resultaría de la fórmula (3.3), es decir:

$$N = 2^n \quad (3.26)$$

donde:

N = número de niveles a transmitir.

n = Número de bits por pulso transmitido.

Luego:

Para $n = 2$, se necesitarán 4 niveles y se obtendrán *dibits*.

Para $n = 3$, se necesitarán 8 niveles y se obtendrán *tribits*.

Para $n = 4$, se necesitarán 16 niveles y se obtendrán *cuadribits*.

La mayoría de los equipos módem, que transmiten a velocidades de más de 2400 bps, emplean este método para aumentar las velocidades de transmisión al tiempo que mantienen la velocidad de modulación en 2400 baudios.

En la figura 3.9 se ha tomado la velocidad de modulación fija en 2400 baudios y se ha ido aumentando el número de bits por baudio transmitido, n ; el lector descubrirá rápidamente las distintas velocidades de transmisión que hoy se ofrecen en los distintos modems de datos que están en venta en el mercado.

Cuando se procede a hacer una conexión a la red usando las facilidades que muchos de los sistemas operativos actuales ofrecen, en el momento de la conexión suelen indicar la velocidad de transmisión a la que el módem se conectó con el correspondiente; y muchas veces se advierten velocidades menores a las que el equipo ofrece como velocidad máxima. Estas velocidades serán muy fácilmente ubicables en la tabla de la figura 3.8, pues lo que ha ocurrido es que por defectos en la línea de comunicaciones, el módem prefirió negociar con el otro una velocidad menor, para que la tasa de errores fuese razonable.

Cuadro de relación de diferentes tipos de modems de datos que trabajan solamente a 2400 baudios			
Velocidad de modulación	Número de bits por baudio	Velocidad de transmisión	Recomendación típica de módem
2400 baudios	1	2400 bps	V.22 bis ¹
	2	4800 bps	
	3	7200 bps	
	4	9600 bps	V.29 y V.32
	5	12 000 bps	
	6	14 400 bps	V.33 y V.32 bis
	7	16 800 bps	
	8	19 200 bps	
	9	21 600 bps	V.34 ²

FIGURA 3.9

¹ Trabaja a solamente 600 baudios.

² Esta recomendación para modems de frecuencia vocal puede llegar a trabajar a 33 600 bps, pero a mayores velocidades de modulación, que llegan a un máximo de 3429 baudios.

■ ejemplo 3.7

Un módem de datos está transmitiendo a una velocidad de 9600 bps, ¿cuál sería el período de la señal si quisiéramos transmitir a 9600 baudios? ¿Y si usáramos cuadribits?

En el primer caso, tendríamos que,

$$V_m = 1/T$$

Si, $V_m = 9600$ baudios, luego el período será $T = 0,000104$ s, es decir, **104 μ s**, que es un tiempo muy pequeño.

Si usáramos cuadribits, podríamos trabajar a una velocidad de modulación de 2400 baudios, luego el período será de $T = 0,000416$ s, es decir **0,416 ms**; es decir, un tiempo cuatro veces mayor y por lo tanto más fácil de ser detectado.

3.5 ■ Compresión de datos

3.5.1 Introducción

El desarrollo de la informática y la teleinformática ha provocado en los últimos años un crecimiento acelerado de los volúmenes de información que deben ser almacenados en bases de datos, computadores y todo tipo de soportes magnéticos.

Paralelamente, la necesidad de transferir estos crecientes volúmenes de datos a través de redes de comunicaciones en forma remota, ha ido cambiando aceleradamente algunos de los problemas que los administradores de los sistemas de información deben resolver.

Por otra parte, si bien los costes relativos de los dispositivos de almacenamiento y de las comunicaciones han disminuido en todo el mundo, la realidad es que el gasto global en ambos se ha incrementado notablemente.

Un ejemplo muy común es el de las bases de datos, ya sus administradores han tenido permanentemente la necesidad de adquirir más y más unidades de discos magnéticos para aumentar su capacidad de almacenamiento. Los dueños de simples computadores personales no han sido ajenos a este fenómeno, ya que hoy en día necesitan discos de mayor tamaño para poder adquirir software moderno, basado en sistemas de ventanas e iconos, que requiere mucha capacidad para su instalación y operación.

Por otra parte, los medios de comunicaciones que necesitan realizar transferencias de datos o archivos, consultas en línea, etc., han exigido a la industria del hardware modems más veloces y sistemas de multiplexado de canales de comunicaciones más eficientes. Estos equipos, que utilizan técnicas estadísticas modernas (ver capítulo 9) han ido mejo-

rando sus rendimientos con el objeto de abaratar los costos de las comunicaciones.

Dentro de este esquema, los sistemas de **compresión de datos** han ido ganando mercado rápidamente. Estos sistemas, al utilizar códigos más sofisticados o métodos lógicos de compresión, permiten reducir el volumen de datos y, por consiguiente disminuyen las necesidades de almacenamiento en discos y abaratan las transmisiones. Así se logra transferir mayor cantidad de información en tiempos substancialmente menores sin necesidad de aumentar el ancho de banda de los canales de comunicación.

La compresión de datos, en resumen, actúa sobre un **circuito teleinformático** de la misma manera que las señales multinivel, ya que mejora aun más la velocidad de transmisión, pero ésta vista desde la óptica exclusiva del Equipo Terminal de Datos. Esto significa que *la velocidad de transmisión en el canal de comunicaciones queda totalmente inalterada*.

La compresión de datos permite aumentar la **velocidad real de transferencia de datos** manteniendo constante tanto la velocidad de modulación como la velocidad de transmisión.

Definición de compresión de datos 3.5.2

En las técnicas de manejo de la información en forma digital, la compresión de datos puede definirse de la siguiente manera:

Técnicas lógicas o físicas que permiten reducir el tamaño de un conjunto de datos sin alterar el significado de la información que contiene.

Compresión de datos

Medidas de la compresión de datos 3.5.3

Índice de compresión 3.5.3.1

Dado un conjunto de datos, el **índice de compresión** se puede definir así:

Número que resulta de dividir la longitud original de un conjunto de datos (medidos en bits o en bytes) por la longitud del mismo conjunto luego de haber sido comprimido.

Índice de compresión

Resulta así la expresión:

$$C = \frac{\text{Longitud original de un conjunto de datos}}{\text{Longitud comprimida del conjunto de datos}} \quad (3.27)$$

Como se puede apreciar, la longitud original del conjunto de datos a comprimir será siempre mayor que la de los datos ya comprimidos, por lo que el cociente será siempre mayor que uno.

$$C \text{ (índice de compresión)} > 1 \quad (3.28)$$

Este índice mide el grado de reducción del conjunto original de datos, obtenido como resultado de la compresión.

Si C fuera igual a 1, no habría compresión alguna. También es fácil observar que cuanto mayor sea este índice, más efectivo será el método de compresión utilizado.

3.5.3.2 Factor de mérito

Dado un conjunto de datos, el **factor de mérito** se define como sigue:

f
factor de mérito

Número que resulta de calcular la inversa del índice de compresión.

Resulta así la expresión:

$$R = \frac{1}{C} \quad (3.29)$$

Este factor tiene mucha utilidad, pues permite calcular el porcentaje en que se reducirá el tiempo necesario para efectuar una transmisión de un conjunto de datos.

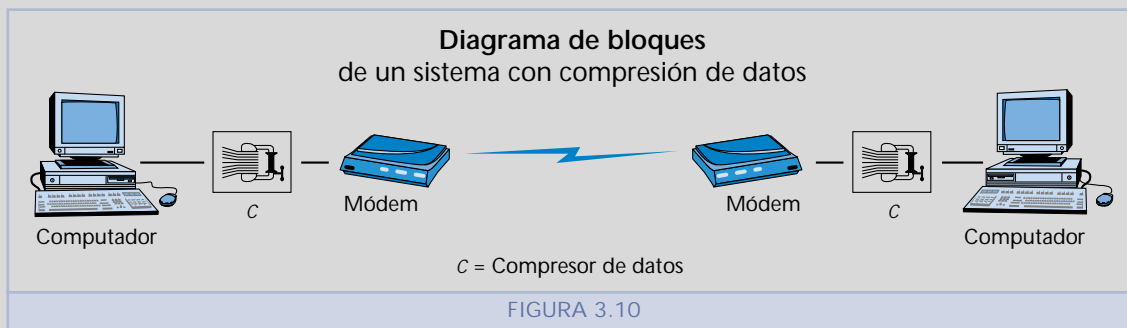
ejemplo 3.8

Un método de compresión de datos tiene un índice de compresión igual a 2. Calcular el factor de mérito y determinar el porcentaje de tiempo que se ahorra al utilizar ese proceso de compresión en la transmisión de un conjunto cualquiera de datos.

El factor de mérito será:

$$R = \frac{1}{C} = \frac{1}{2} = 0,50$$

Puesto que el factor de mérito es 0,50, el porcentaje del tiempo que se ahorra al transmitir comprimido el conjunto de datos es el 50%.



Esquemas usados para comprimir conjuntos de datos 3.5.4

La figura 3.10 muestra un esquema típico de compresión y descompresión de datos. En este caso el compresor y descompresor del conjunto de datos está separado del equipo módem de datos, pero en la práctica estos dos elementos conforman, generalmente, una sola unidad de hardware.

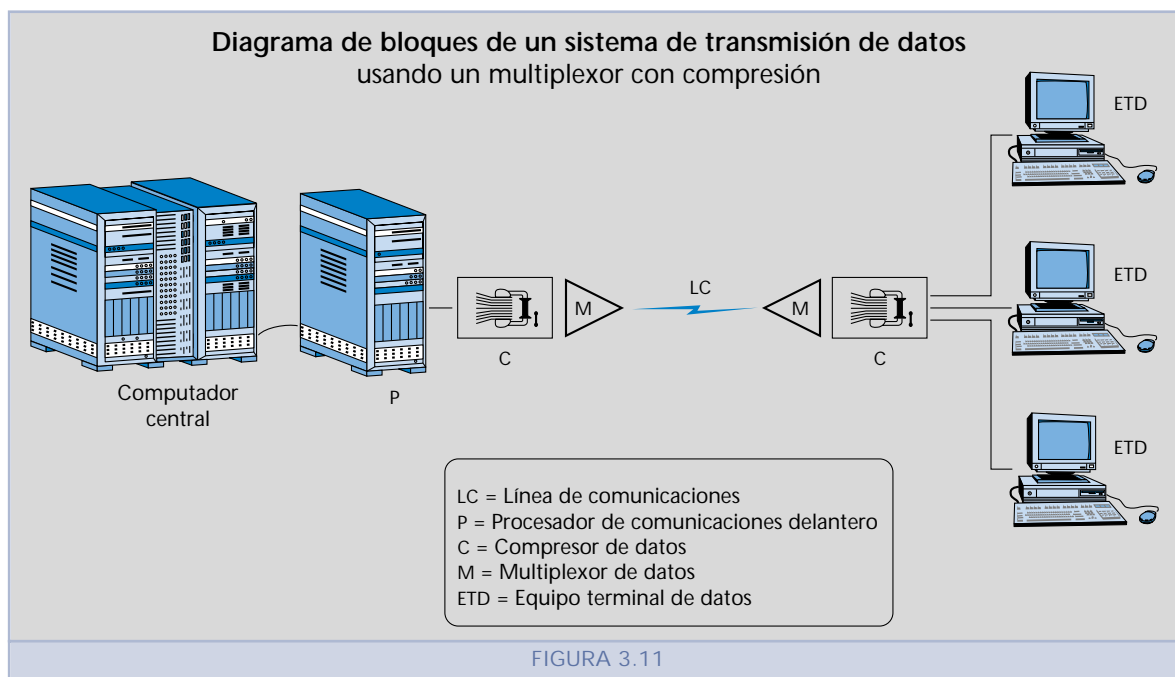
De la misma manera, este tipo de desarrollos de compresión puede incorporarse a multiplexores estadísticos y a concentradores que producen el mismo efecto. La figura 3.11 muestra un ejemplo de cómo actuaría un multiplexor que tiene incorporado un sistema de compresión de datos con un factor de mérito de 0,50.

Los procesos de compresión y descompresión de datos requieren el uso de microprocesadores para ejecutar los programas que realizan esas funciones. Estos microprocesadores también pueden estar en los equipos terminales de datos, en los módem o en cualquier otro equipo que intervenga en la conformación del circuito teleinformático.

Nociones sobre las técnicas de compresión de datos 3.5.5

Compresión lógica 3.5.5.1

La compresión lógica se basa en un proceso de análisis de la información con vista a obtener la misma información usando la menor cantidad posible de caracteres.



En la creación de bases de datos, una de las primeras tareas que realizan los analistas es buscar la mayor reducción lógica posible, sin alterar el significado de los campos a tratar.

Un primer ejemplo muy simple de entender es el registro de fechas en los archivos o bases de datos. Si se quisiera registrar una fecha como la siguiente

24 de diciembre de 1997

(3.30)

se deberían usar:

- 2 caracteres para el día.
- 4 caracteres (blancos) de separación entre palabras o números.
- 9 caracteres para el mes (tomando el más largo).
- 4 caracteres para el año.

Todo ello hace un total de 19 caracteres. Sin embargo, la misma fecha podría indicarse de la siguiente manera

241297

(3.31)

Este ejemplo trivial permite ahorrar 13 caracteres cada vez que se registre la fecha. Si fuese necesario incluir este campo muchas veces, el ahorro de espacio en la base de datos resulta evidente, y todo ello sin perjuicio que cuando se tenga que explicitar en pantalla o en una impresión se escriba tal como se indicó en (3.30), mediante un simple programa de conversión.

El mismo criterio podría usarse para almacenar un campo denominado, por ejemplo, *países*. En lugar de reservar espacio teniendo en cuenta la longitud del nombre más largo de todos los posibles, los países podrían ser codificados en una tabla indizada de manera que en el campo *países* se reserven sólo 2 ó 3 caracteres para registrar el índice de dicha tabla.

Para el primer ejemplo, el de las fechas, existe un método aún más sofisticado que puede ser utilizado en la etapa de programación. En efecto, puesto que los días varían del 1 al 31, se pueden utilizar solamente 5 bits para registrarlos (ya que con 5 bits se pueden representar, en binario, 32 números posibles). Análogamente, los meses se pueden representar mediante 4 bits (16 combinaciones posibles). Si se utiliza un código de 8 bits por byte y se desea reservar 2 bytes (16 bits) para registrar la fecha, quedarían 7 bits ($16 - 5 - 4$) con los que se pueden representar un total de 128 años distintos. En resumen, para registrar una fecha tal como la que se muestra en (3.31) se necesitan 48 bits, mientras que con este último método sólo se necesitan 16 bits, lo que representa un ahorro mucho mayor. El ejemplo señalado quedaría:

01100	0110	0101110
-------	------	---------

(3.32)

Compresión física 3.5.5.2

La compresión física de un conjunto de datos contenidos en una base de datos, en un archivo, o en algún otro soporte de información, se basa generalmente en resultados tecnológicos extraídos de estudios basados en la teoría de la codificación.

En el caso de un proceso de transmisión de datos, la compresión física puede ser vista como la acción de reducir la cantidad de bits de datos antes de que éstos entren al sistema que los transmitirá y la correspondiente acción de expandirlos antes de entregarlos a las terminales de datos que los emplearán.

Estas técnicas se basan en que los distintos caracteres empleados en un conjunto de datos a transmitir tienen diferentes frecuencias de aparición.

Los caracteres con una mayor frecuencia de aparición son entonces codificados con un número menor de bits, que aquellos que aparecen más infrecuentemente, siguiendo una técnica que en esencia es similar a la usada para construir el **alfabeto Morse**¹.

Otras técnicas aprovechan el hecho de que en los conjuntos de datos suelen aparecer caracteres repetidos un determinado número de veces que pueden ser reemplazados por un carácter especial de compresión que indica la cantidad de veces que el mismo se repite.

Un ejemplo sencillo que ayuda a comprender cómo trabajan los programas de compresión este tipo es el que se conoce como **supresión de nulos**² y **blancos**. La técnica que se emplea en estos casos consiste en analizar un conjunto de datos a fin de buscar una sucesión de caracteres **nulos y blancos**, y, una vez localizada, se procede a contar la cantidad de caracteres que contiene para posteriormente reemplazarla por dos caracteres: el primero indica el tipo de reemplazo, y el segundo la cantidad reemplazada.

Cuando la secuencia de datos llega a destino, se vuelve a analizar en busca de caracteres de reemplazo, y, en el caso de encontrar uno, se lee el segundo carácter para saber cuántos caracteres han sido reemplazados y se procede a insertarlos en ese mismo lugar.

Este método se usa, por ejemplo, en el Protocolo de Comunicaciones conocido como **BSC**³.

¹ *SAMUEL MORSE* nació en 1791 en la ciudad de Charlestown, Estado de Massachusetts, Estados Unidos, y falleció en Nueva York en el año 1872, a la edad de 81 años. Se educó en la actual Universidad de Yale e inicialmente se dedicó a la pintura y a la escultura. En la década de 1830 empezó a interesarse en los fenómenos químicos y eléctricos, que le permitieron desarrollar, en el año 1836, lo que se conoce actualmente como **telégrafo**, que procedió a patentar en la ciudad de Washington D.C. Para su uso, también inventó el código que lleva su nombre. La primera línea telegráfica en el mundo se construyó entre la ciudad de Washington y el puerto de Baltimore, en el Estado de Maryland.

² Se refiere al carácter denominado **null** en el Código ASCII.

³ **BSC** (Binary Synchronous Control).

ejemplo 3.9

En la siguiente secuencia de datos se encuentran nueve caracteres blancos seguidos.

Y D G S N F R J **b**³ **b** **b** **b** **b** **b** **b** **b** **b** Q P R 3 T ¹

Si el carácter que indica reemplazo fuese, por ejemplo, **R_e**, la secuencia comprimida sería la siguiente:

Y D G S N F R J **R_e 9** Q P R 3 T

Los caracteres **R_e 9** indican que en ese lugar deben ser oportunamente restituidos nueve caracteres blancos.

Finalmente, cabe añadir que el estudio en detalle de estas técnicas escapa al alcance de esta obra, pero pueden ser completadas mediante la lectura de textos específicos sobre **compresión de datos**².

3.6 ■ Modos de transmisión: serie y paralelo

3.6.1 Introducción

Los equipos informáticos y los específicos de transmisión de datos necesitan procedimientos muy precisos para enviar y recibir datos, ya que requieren saber exactamente donde comienza y donde finaliza cada conjunto de bits que componen los caracteres (byte).

Estos procedimientos específicos, denominados de sincronización, deben estar perfectamente determinados en las dos situaciones técnicamente posibles.

- Primera, cuando los datos son transmitidos entre dos equipos en forma digital (vínculos o redes digitales).
- Segunda, cuando deben ser transmitidos por medios analógicos. En este último caso será necesario transformar las señales digitales generadas en los equipos informáticos, usando equipos módem, en señales analógicas que puedan ser transmitidas por este tipo de vínculos o redes.

Existen dos formas de transmitir las señales, el modo paralelo y el modo serie.

A su vez, en el modo serie existen dos procedimientos diferentes, el denominado asincrónico y el sincrónico.

¹ Indicación de carácter **blanco** = **b**.

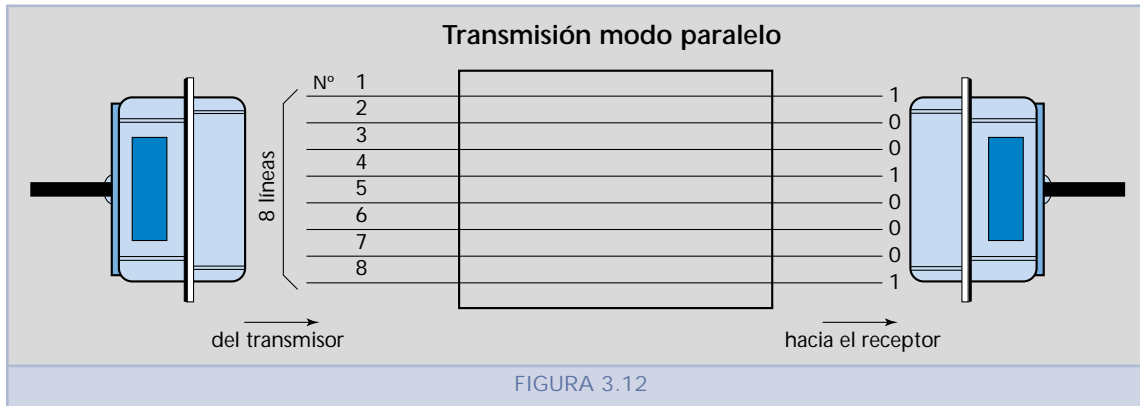
² En la bibliografía consultada para este libro se pueden encontrar varias obras recomendadas.

Transmisión en modo paralelo 3.6.2

Definición 3.6.2.1

Se denomina transmisión en modo paralelo a aquella en que los n bits que componen cada byte o carácter se transmiten en un solo ciclo de reloj.

*t*ransmisión en modo
paralelo



En la figura 3.12 se puede apreciar la forma en que se transmiten los bits por medio de este procedimiento.

Características de la transmisión en modo paralelo 3.6.2.2

La transmisión en modo paralelo posee las siguientes características:

- Este modo es el que se usa en las computadoras para realizar la transferencia interna de los datos. En los casos en que se usen códigos internos de 8 bits por byte, en cada ciclo se transfieren los 8 bits de cada carácter simultáneamente.
- En estos casos se transmite cada conjunto de n bits, seguido por un espacio de tiempo y luego nuevamente otro conjunto de n bits, y así sucesivamente.
- En la transmisión en paralelo se pueden usar dos formas distintas. Una es disponer de n líneas diferentes a razón de una por bit a transmitir; la otra, es usar una única línea, pero enviando cada bit mediante un procedimiento técnico que se denomina multiplexación. (En el capítulo 9 se detallan estos procedimientos.)
- Cuando se usa la transmisión en paralelo se emplean generalmente altas velocidades, dado que esa es precisamente una de sus características más importante: enviar más bits en el menor tiempo posible.

En estos casos las velocidades se miden en bytes o caracteres por segundo.

- En general, este tipo de transmisión no se usa cuando las distancias superan las decenas de metros debido a que el tiempo de llegada de los bits difiere de una línea a otra, situación ésta que se agrava con el aumento de la distancia.

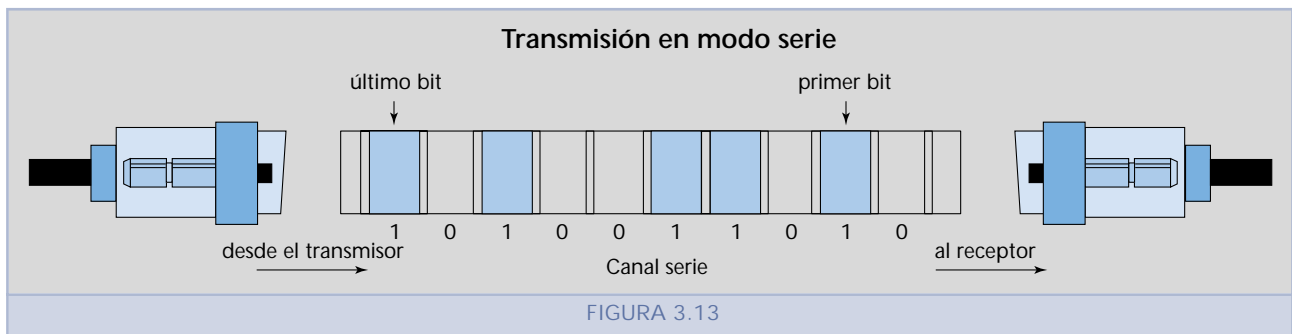
3.6.3 Transmisión en modo serie

3.6.3.1 Definición

*t*ransmisión en modo serie

Se denomina transmisión en modo serie a aquella en que los bits que componen cada carácter se transmiten en n ciclos de 1 bit cada uno.

En la figura 3.13 se puede apreciar la forma en que se transmiten los bits por medio de este procedimiento.



3.6.3.2 Características de la transmisión en modo serie

La transmisión en modo serie posee las siguientes características:

- En este caso, se envían un bit después del otro, hasta completar cada carácter.
- Este modo de transmisión es el típico de los sistemas teleinformáticos.
- En muchas ocasiones, las señales que son transmitidas por los vínculos de telecomunicaciones deben pasar al modo paralelo al llegar a los equipos informáticos. Este proceso de transformación se denomina **deserialización**.

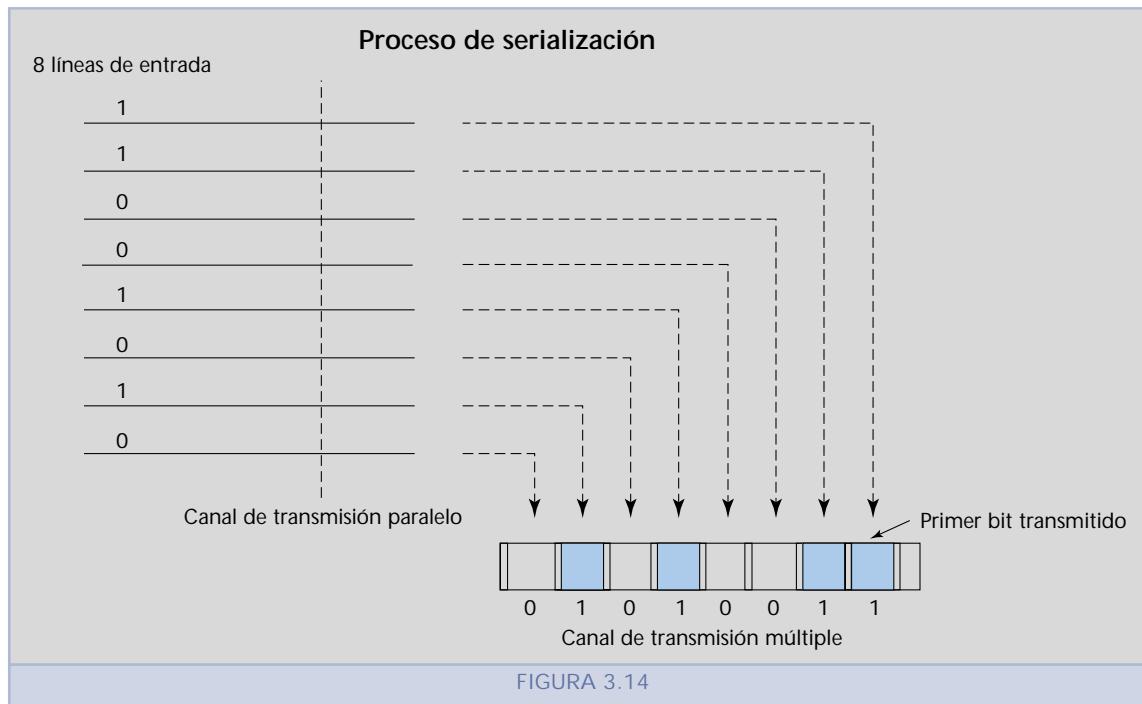
Análogamente, cuando las señales de un equipo informático deben ser transformadas del modo paralelo al modo serie, se debe verificar el proceso inverso, es decir, el de **serialización**.

En la figura 3.14 se puede observar estos procesos.

- La secuencia de los bits transmitidos se efectúa siempre por orden de pesos crecientes, es decir, n_1, n_2, \dots, n_8 ; es decir, al revés de como se escriben las cifras en el sistema de numeración binario, donde los pesos crecientes, se escriben siempre a la izquierda.
- Cuando se transmite con bit de paridad, éste se transmite siempre en último término.

3.6.3.3 Concepto de sincronismo

El **sincronismo** es un aspecto fundamental en los sistemas de transmisión de datos y puede definirse como sigue:



Procedimiento mediante el cual tanto la *fuentes* como el *colector* de los datos adoptan una base de tiempo común, de forma que reconozcan inequívocamente la transmisión de un 1 ó de un 0.

Sincronismo

La sincronización entre transmisor y receptor se puede realizar en tres niveles denominados: sincronismo de bit, de byte y de bloque.

SINCRONISMO DE BIT

El sincronismo de bit puede definirse como sigue:

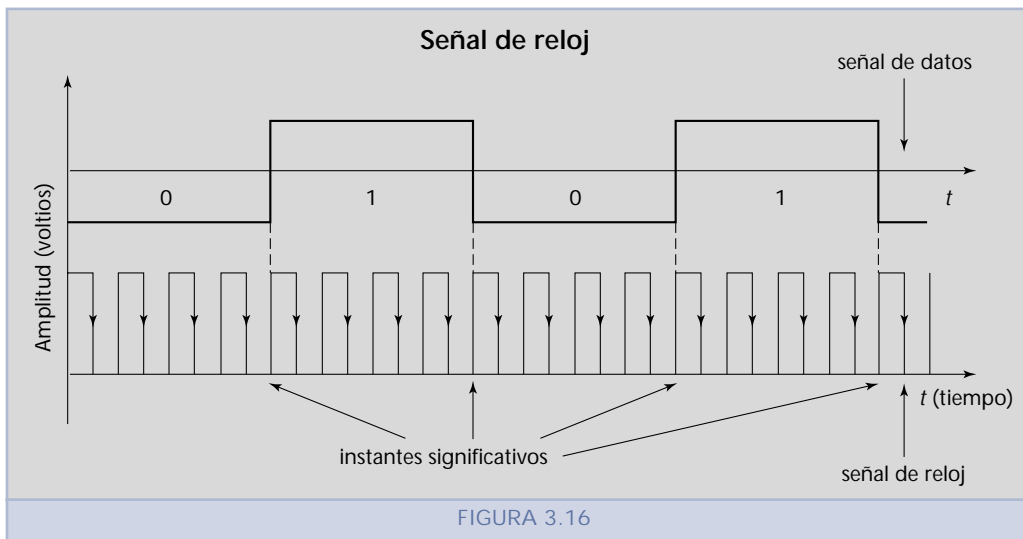
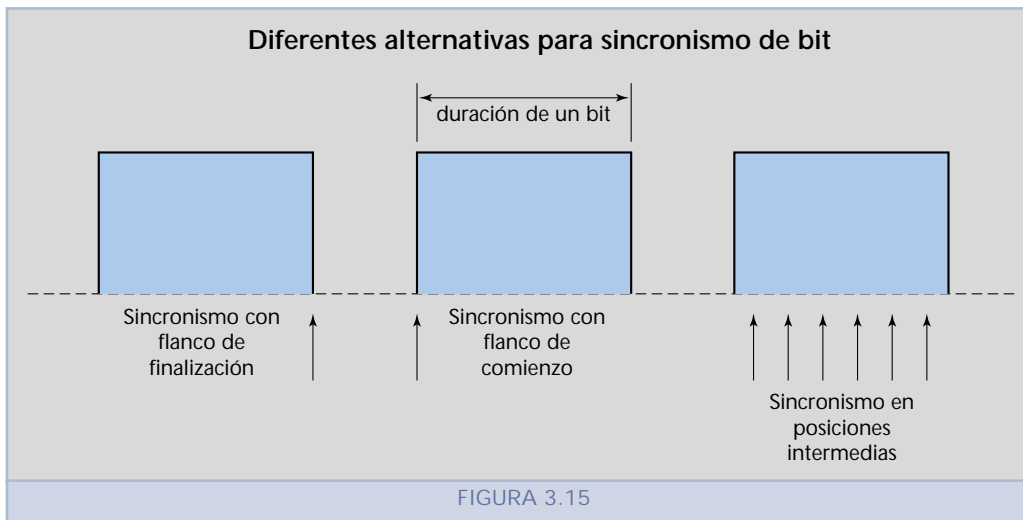
Procedimiento que se usa para determinar exactamente el momento en que se debe empezar a contar un bit.

Sincronismo de bit

La Figura 3.15 muestra diferentes alternativas del sincronismo de bits, ya que éste se puede empezar a contar al principio, durante un estado intermedio o al final.

Para ello se debe contar con un reloj que marque el sincronismo, conectado, además, con los otros componentes del sistema de forma que todos mantengan el mismo ritmo.

La frecuencia del reloj que muestrea la línea de comunicaciones debe ser mucho mayor que la velocidad con que llegan los datos por la misma línea. El reloj tiene que muestrear la línea a una velocidad normalmente 8 ó 9 veces mayor que la velocidad de modulación, a efectos de que pueda detectar la transición de un 1 a un 0, o viceversa, muy rápida-



mente, antes de que el pulso deje de estar presente en el canal (figura 3.16). Una frecuencia de muestreo del reloj muy lenta no podría detectar el cambio de estado antes señalado.

SINCRONISMO DE BYTE

El sincronismo de byte puede definirse así:

Sincronismo de byte

Procedimiento que se usa para determinar cuando comienza el byte (carácter) y cuando termina.

Como se podrá apreciar, este procedimiento tiene muchísima importancia en el caso de la transmisión asincrónica.

SINCRONISMO DE BLOQUE

El sincronismo de bloque puede definirse de la siguiente manera:

Procedimiento que se usa para determinar el conjunto de caracteres que se considerará a los efectos del tratamiento de los errores.

Sincronismo de bloque

El tipo de bloque más comúnmente utilizado es la trama. Cuando se produce un error se debe retransmitir todo el bloque nuevamente.

Transmisión asincrónica 3.6.4

Introducción 3.6.4.1

Históricamente, los distintos procesos de comunicación en serie se fueron desarrollando con el objeto de lograr un aprovechamiento óptimo del canal de comunicaciones.

El problema básico que se debe resolver es el de lograr que la información generada por la fuente sea recuperada en la misma forma por el colector, para lo cual es necesario ajustar correctamente el sincronismo, tanto del transmisor como del receptor.

Como ya se expresó en términos generales, para la sincronización del transmisor y receptor es necesario disponer de relojes que funcionen a la misma frecuencia en ambas puntas del enlace. Por lo tanto, la caracterización de cada modo de transmisión radica precisamente en los procedimientos de control que aseguren el mantenimiento de este sincronismo.

El procedimiento denominado asincrónico fue el primero que se utilizó masivamente para asegurar la transmisión entre un computador y sus terminales.

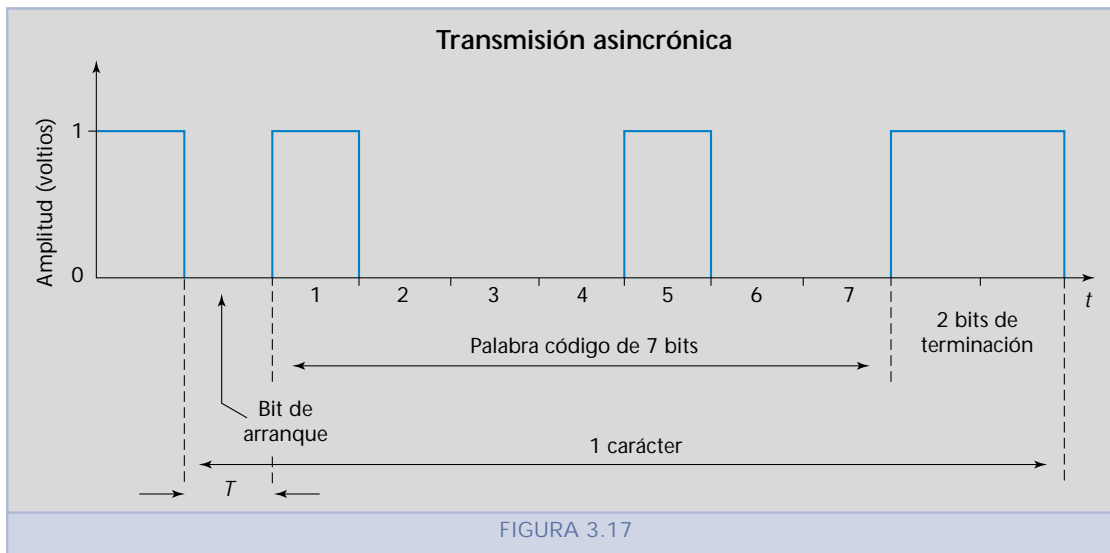
Descripción del procedimiento asincrónico 3.6.4.2

En el procedimiento asincrónico, cada carácter a transmitir es delimitado por un bit denominado de cabecera o de arranque, y uno o dos bits denominados de terminación o de parada. En la figura 3.17 se puede observar este procedimiento.

El bit de arranque tiene funciones de sincronización de los relojes del transmisor y del receptor. El bit o bits de parada se usan para separar un carácter del siguiente. Normalmente, a continuación de los bits de información se acostumbra agregar un bit de paridad (par o impar).

La forma en que se desarrolla el procedimiento es la siguiente:

- Antes de que el sistema se active la línea siempre se encuentra en estado de tensión máxima (lo que podría equivaler, por ejemplo, a un 1).
- El bit de arranque indica donde empieza el carácter transmitido y activa los mecanismos encargados de muestrear, contar y recibir las señales siguientes. Este bit corresponde a una señal de mínima tensión en la línea y se puede suponer que corresponde a un cero, es



decir, hace pasar a la línea, que estaba en un estado de máxima tensión (un 1), a un estado de mínima tensión (un 0).

- Luego se transmiten los bits de datos, que generalmente se suelen almacenar en una memoria intermedia del receptor para luego ser procesados.
- El bit o los bits de parada se encargan siempre de volver a colocar la señal en el nivel máximo, para esperar así el byte siguiente.
- Mientras no vuelva a recibirse un bit de arranque, la señal quedará en reposo en el nivel máximo hasta que vuelva a aparecer una nueva transición de 1 a 0.

3.6.4.3 Características de la transmisión asincrónica

Las características de la transmisión asincrónica son las siguientes:

- Los equipos terminales que funcionan en modo asincrónico se denominan también **terminales en modo carácter**.
- La transmisión asincrónica se denomina también **arrítmica** o de **start-stop** (arranque-parada).
- La transmisión asincrónica se utiliza a velocidades de modulación de hasta 1200 baudios.
- Si se utiliza un bit de arranque y dos de parada en la transmisión de una señal basada en un código de 7 bits más uno de paridad, el rendimiento es del 72% (8 bits de 11 transmitidos).

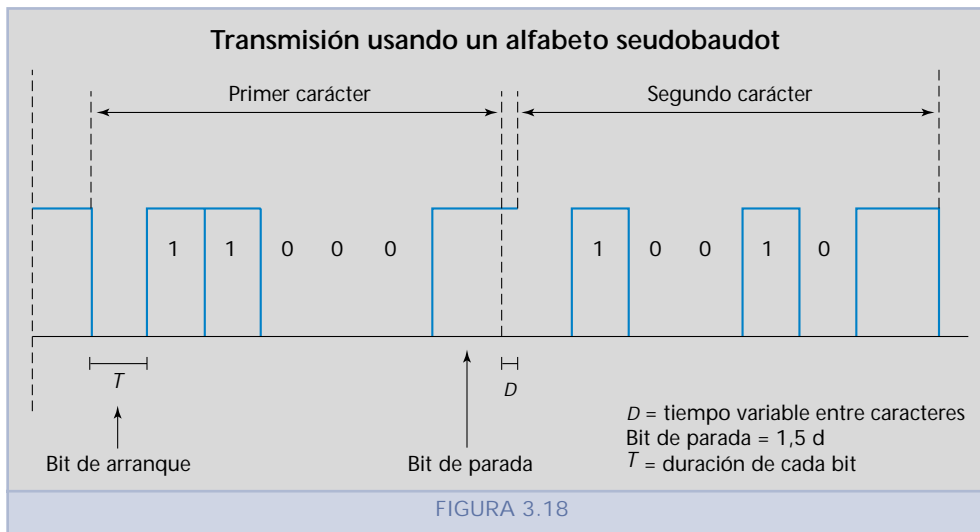
La longitud de los bits de parada respecto de la longitud d de un bit de datos (o la del bit de parada) puede ser:

1,42 τ en el sistema **Baudot**.

1,5 τ en el llamado sistema **Seudobaudot** (figura 3.18).

1 τ o 2 τ en el resto de los sistemas.

- Entre dos caracteres puede mediar cualquier separación en tiempo.



Entre las ventajas y desventajas del modo asincrónico se pueden señalar las siguientes:

- En caso de errores se pierde siempre una cantidad pequeña de caracteres, pues éstos se sincronizan y se transmiten de uno en uno.
- Bajo rendimiento de transmisión debido a que es necesario transmitir bits de sincronismo por cada carácter, y esto hace que la proporción de bits útiles sea baja. Se debe tener presente que esto origina un menor aprovechamiento de la línea de transmisión.
- Es un procedimiento que permite el uso de equipamiento más económico y de tecnología menos sofisticada.
- Se adecua más fácilmente en aplicaciones donde el flujo transmitido es más irregular.
- Son especialmente aptos cuando no se necesitan lograr altas velocidades.

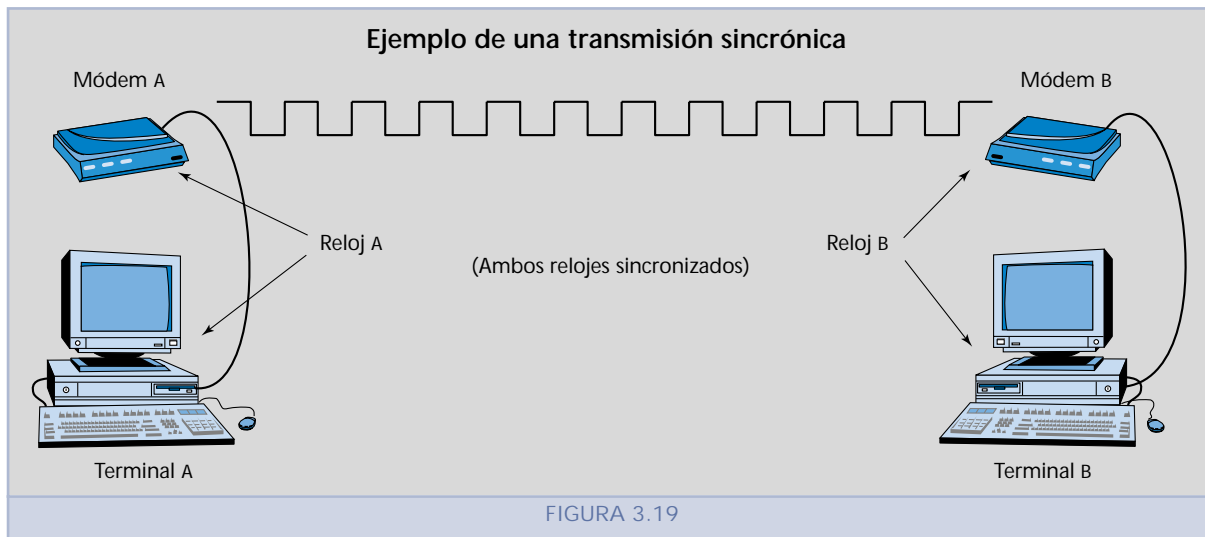
Transmisión sincrónica 3.6.5

Introducción 3.6.5.1

La necesidad de obtener una mayor proporción de bits útiles (los que contienen información) respecto de la cantidad total de información transmitida, hizo pensar en la posibilidad de usar una menor cantidad de bits para el proceso de resincronización de emisor y receptor. De esa manera aumentaría la cantidad de bits útiles en el total transmitido.

Paralelamente, el desarrollo de tecnologías más sofisticadas permitió la transmisión conjunta de señales de sincronismo con las señales de datos.

Esto abrió el camino para que nacieran los procedimientos de transmisión sincrónicos.



3.6.5.2 Descripción del procedimiento sincrónico

En el procedimiento sincrónico existen dos relojes, uno en el receptor y otro en el transmisor (figura 3.19), y la información útil es transmitida entre dos grupos de bytes denominados genéricamente **delimitadores**¹. Un grupo delimitador es el de encabezado, que se encarga de resincronizar los relojes (osciladores) y el otro de terminación, que suele cumplir varias funciones.

A causa de la tecnología que se emplea en estas transmisiones, los relojes deben permanecer estables durante un tiempo relativamente largo (se usan osciladores con una precisión superior a 1:100 000). Por ello, los relojes se resincronizan periódicamente mediante la utilización de códigos banda base.

3.6.5.3 Características de la transmisión sincrónica

Las características de la transmisión sincrónica son las siguientes:

- Los bloques que se transmiten tienen un tamaño que oscila entre 128 y 1024 bytes. Aquí se debe señalar el compromiso de la ingeniería de diseño que debe determinar la longitud del bloque de información. Si el mismo fuera corto, se perdería rendimiento, que es una de las razones por las cuales se usa el procedimiento sincrónico. Si se alarga demasiado, en caso de errores será necesario retransmitir una cantidad grande de caracteres, con la consiguiente demora.
- La señal de sincronismo en el extremo fuente puede ser generada por el equipo terminal de datos o por el equipo módem; sin embargo, cualquiera sea el que genere dicha señal, la misma será común para ambos equipos y en ambos extremos de la línea.

¹ En inglés se usa, en sentido figurado, el término *flag* (bandera) ya que en algunas carreras, como, por ejemplo, la de automóviles, se utiliza una bandera para indicar el comienzo y el fin de la competencia.

- El rendimiento de la transmisión sincrónica, cuando se transmiten bloques de 1024 bytes y se usan no más de 10 bytes de cabecera y terminación, supera el 99%.

Como ventajas y desventajas del modo sincrónico se pueden señalar las siguientes:

- Posee un alto rendimiento en la transmisión. Esto supone un mejor aprovechamiento de la línea de transmisión.
- Los equipamientos necesarios son de tecnología más compleja y de costos más altos.
- Son especialmente aptos para ser usados en transmisiones de altas velocidades (iguales o superiores a 1200 baudios de velocidad de modulación).
- El flujo de datos es más regular.
- En caso de errores de transmisión, la cantidad de bytes a retransmitir puede ser importante. Este problema debe hacer meditar seriamente sobre la velocidad más conveniente para el enlace.

Existen dos tipos de procedimientos sincrónicos: **orientados al bit** y **orientados al carácter**. Las características de estos procedimientos están relacionadas con los protocolos de comunicaciones usados en los enlaces de datos y con los códigos o alfabetos usados en la transmisión de datos, entre otros aspectos fundamentales.

Tipos de transmisión ■ 3.7

Canal de comunicaciones 3.7.1

Es importante tener una primera noción de lo que se denomina canal de comunicaciones, elemento fundamental en el establecimiento, mantenimiento y desconexión de una comunicación, sea ésta de voz, datos, textos o de imágenes.

Se denomina canal de comunicaciones al recorrido físico que es necesario establecer usando uno o varios medios de comunicaciones (cables de cobre coaxiales, fibras ópticas, microondas, satélites, etc.) para que una señal eléctrica, óptica o electroóptica se pueda desplazar entre dos puntos, uno llamado fuente, que es aquel donde se origina la comunicación, y otro denominado colector o sumidero, que es aquel donde se recibe.

Canal de comunicaciones

Existen otras denominaciones para el canal de comunicaciones: línea, enlace, facilidad, vínculo, etc.

Como se vio en el capítulo 2, los canales pueden ser analógicos o digitales, pero también pueden los canales analógicos transmitir señales digitales previamente moduladas, como los canales digitales pueden llevar señales analógicas previamente digitalizadas.

Los distintos elementos físicos que pueden usarse para constituir un canal de comunicaciones serán desarrollados en el capítulo 7 de este tex-

to. Asimismo, las características específicas desde el punto de vista físico y lógico de los canales serán desarrolladas en el capítulo 6 de este texto.

3.7.2 Los distintos tipos de transmisión

Los distintos tipos de transmisión de un canal de comunicaciones pueden ser de tres clases diferentes:

- Símplex.
- Semidúplex.
- Dúplex (o dúplex completo).

3.7.2.1 Método símplex

*m*étodo símplex

Se denomina **símplex** al método de transmisión en el cual una estación siempre actúa como fuente y la otra siempre como colector.

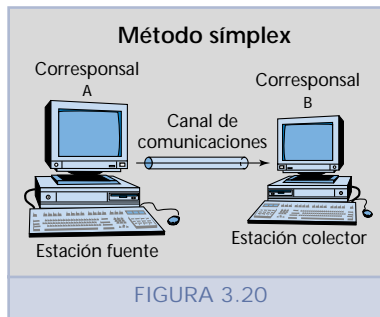


FIGURA 3.20

Tal como se puede observar en la figura 3.20, este método permite la transmisión de información en un único sentido: uno transmite y otro sólo recibe. Ejemplos de servicios símplex son la radiodifusión comercial o de televisión, y el que brindan las agencias de noticias a sus asociados (diarios, estaciones de radio y televisión, etc.). En este último caso, desde un equipo que actúa como **fuentes**, generalmente un equipo terminal télex o radioteletipo, se emiten noticias las 24 horas del día, que las empresas asociadas pueden recibir libremente en equipos similares que actúan como **colectores**; pero no pueden preguntar sobre las informaciones recibidas o pedir ampliaciones de ellas.

3.7.2.2 Método semidúplex

*m*étodo semidúplex

Se denomina **semidúplex** al método de transmisión en el cual una estación A y otra estación corresponsal B actúan durante un período de tiempo como fuente y colector, respectivamente, pero en un período de tiempo posterior la estación A actúa como colector y la estación B como fuente.

Como muestra la figura 3.21, este método permite la transmisión en las dos direcciones, aunque en momentos diferentes.

El método de transmisión semidúplex es la típica conversación entre dos radioaficionados en la que uno espera que el otro termine de hablar para continuar el diálogo, pero nunca pueden hablar simultáneamente.

En estos sistemas son populares las expresiones *cambio* para indicarle al corresponsal que es su turno de hablar y *cambio y fuera* para terminar la conversación.

3.7.2.3 Método dúplex

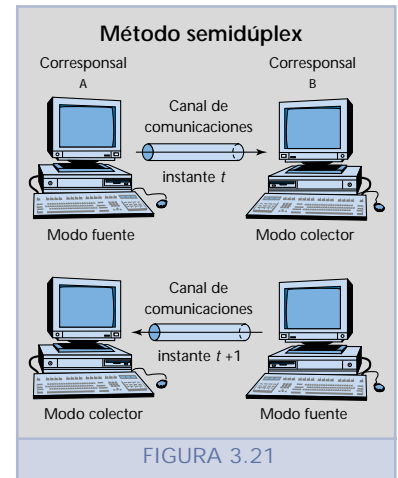
*m*étodo dúplex

Se denomina **dúplex** o también **full dúplex**, al método de transmisión en el cual dos estaciones, A y B, actúan a la vez como fuente y colector, por lo que pueden transmitir y recibir información en forma simultáneamente.

Tal como se puede observar en la figura 3.22, este método permite la transmisión simultánea en las dos direcciones. Por esta razón se le suele también denominar **línea de doble sentido**.

El ejemplo típico de transmisión dúplex es el sistema telefónico y en particular, se podría decir que es la típica conversación telefónica entre personas que no se escuchan y pretenden hablar simultáneamente.

Dentro de este método de transmisión hay un caso particular, que se suele denominar **full/full dúplex**, en el cual se puede transmitir y recibir en forma simultánea, pero en el proceso intervienen tres estaciones. Una estación transmite a una segunda y recibe de una tercera, al mismo tiempo. Este tipo de enlaces se usa casi con exclusividad en sistemas de transmisión de datos.



Protocolos de comunicaciones 3.8

Arquitecturas de comunicaciones 3.8.1

Conceptos generales 3.8.1.1

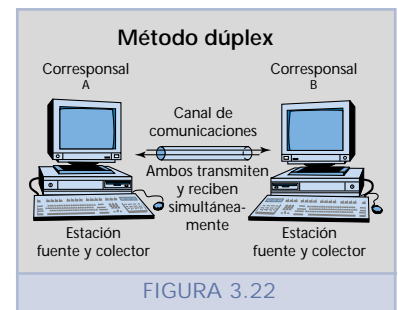
Los sistemas de comunicaciones necesitan primero herramientas para establecer una comunicación y luego deben controlar el flujo de datos entre las estaciones que están conectadas.

Cada uno de estos flujos está gobernado por lo que se denomina **Arquitectura de la Red**¹, que en términos generales forma un **cuerpo ordenado de normas** que establece las reglas fundamentales para que los equipos terminales puedan comunicarse. El grado de complejidad de estas normas depende del tipo de enlace que se quiere establecer.

Las normas están ordenadas en forma de **capas**, donde cada una de ellas cumple una función específica para facilitar la comunicación. Las capas funcionan en base a los denominados **protocolos de comunicaciones**, que, mediante un conjunto de reglas muy detalladas, permiten el funcionamiento de éstas.

Cuando las capas están estructuradas dentro de una determinada arquitectura de comunicaciones, cada una de ellas tiene su respectivo protocolo, que más precisamente se denomina **protocolo de capa**, y que establece el funcionamiento de esa capa en particular.

Las arquitecturas de comunicaciones responden a diferentes estándares y no hay una sola que pueda utilizarse en todos los casos y para todas las aplicaciones. Sin embargo, la **Organización Internacional de Normalización (ISO)**² y la **Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)** han afianzado, en forma conjunta, el término **interconexión de**



¹ Este tema será desarrollado, por su importancia, con mayor amplitud en el capítulo 11 de esta obra.

² ISO (International Standardization Organization).

sistemas abiertos (OSI, *Open Systems Interconnection*), para referirse a un conjunto de estándares que deben considerarse en el desarrollo de arquitecturas compuestas por los protocolos de capas que siguen sus normas.

Los documentos elaborados por ambas Organizaciones Internacionales contienen un amplio conjunto de normas, pero todas ellas se basan principalmente en dos, que son las siguientes:

- **NORMA:** ISO N° 7498 —Reference Basics Model of Open Systems Interconnection of ISO— Modelo Básico de Referencia para la Interconexión de Sistemas Abiertos de la ISO.
- **RECOMENDACIÓN:** X.200 —Reference Model of Open Systems Interconnection for ITU-T Applications— Modelo de Referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos para aplicaciones de la UIT-T.

Cabe señalar que las arquitecturas basadas en las normas de estas organizaciones son las menos frecuentes; sin embargo el concepto de interconexión de sistemas abiertos se toma como **Modelo de Referencia** para la confección de otras arquitecturas que, si bien no responden estrictamente al modelo de la ISO y de la UIT, lo utilizan como base para el desarrollo de los trabajos.

3.8.1.2 El modelo de la ISO

El modelo de la ISO está compuesto por siete capas, y cada una de ellas tiene un protocolo, denominado técnicamente **Protocolo de Capa**, que establece las funciones que debe cumplir.

El modelo de capas representa una forma de facilitar las comunicaciones, ya que la totalidad de las funciones que se necesitan realizar para lograr una comunicación segura y eficiente se distribuyen entre ellas. A tal efecto, cada capa es independiente de las otras; hecho que permite efectuar modificaciones o cambios en cada una de ellas sin afectar el funcionamiento o diseño de las demás.

Las siete capas del modelo están representadas en la figura 3.23, donde se puede apreciar el orden y la denominación de cada una de ellas.

La cantidad de capas que debía tener el modelo fue motivo de una intensa discusión en el seno de las comisiones que redactaron las normas. Se discutió mucho sobre si eran necesario cinco o siete capas. Finalmente se llegó al modelo que se describe en las normas ISO de siete capas.

La realidad, mostró que las capas cinco (sesión) y seis (presentación) fueron usadas en muy pocas aplicaciones. Por otro lado, en las primeras tres capas se observa una cantidad muy grande de funciones.

En algunos casos prácticos las capas se han desdoblado, como es el caso de capa dos (enlace) en las normas de la IEEE para las Redes de Área Local (LAN).

3.8.1.3 Principios usados para la determinación del número de capas

Los principios en que se basó el **Modelo de Referencia** para determinar el número de capas que debía tener son, entre otros, los siguientes:



- El número de capas no debe ser tan grande que dificulte, más de lo necesario, su descripción e integración técnica.
- El número de capas debe estar relacionado con las funciones a ejecutar. Funciones que son muy diferentes deben estar en capas diferentes, y funciones similares deben reunirse en una misma capa.
- Las fronteras entre capas deben establecerse tratando de minimizar el flujo de información a través de la interfase correspondiente, y además en puntos donde la experiencia mejor indique que la misma es satisfactoria.
- Al crearse una capa debe tenerse en cuenta que sus funciones sean fácilmente localizables a fin de que no se alteren los servicios esperados en las capas adyacentes u ofrecidos a ellas en caso de que sea necesario rediseñarla (por ejemplo, por avances tecnológicos¹).
- La frontera entre una capa y otra debe estar donde resulte útil normalizar la interfase correspondiente a ambas.

Relaciones entre las distintas capas 3.8.1.4

Las siete capas del modelo se pueden agrupar en tres grupos bien diferenciados, según se puede observar en la figura 3.24.

El primer grupo, que comprende las tres primeras capas —FÍSICA, ENLACE y RED—, se denomina **entorno de la red**, o **subred de comunicaciones**², porque estas capas son las que interactúan con las redes de comunicaciones, o con la porción de la red que tiene la responsabilidad de transmitir la información hasta el equipo terminal o de recibir la información que éste transmite.

El segundo grupo está formado por las tres capas superiores —SESIÓN, PRESENTACIÓN y ENLACE— y recibe el nombre genérico de **entorno de la aplicación** porque estas tres capas son procesadas en los equipos terminales que intervienen en la comunicación.

Finalmente, la capa de TRANSPORTE, es la primera capa que comunica los equipos terminales de **punta a punta (end to end)**, y actúa como separadora de los otros dos grupos; por tal razón se la denomina **entorno de vinculación**. Puesto que esta capa también es procesada en los equipos terminales, en algunos casos se la incluye en el segundo grupo, pero diferenciándola de las otras tres.

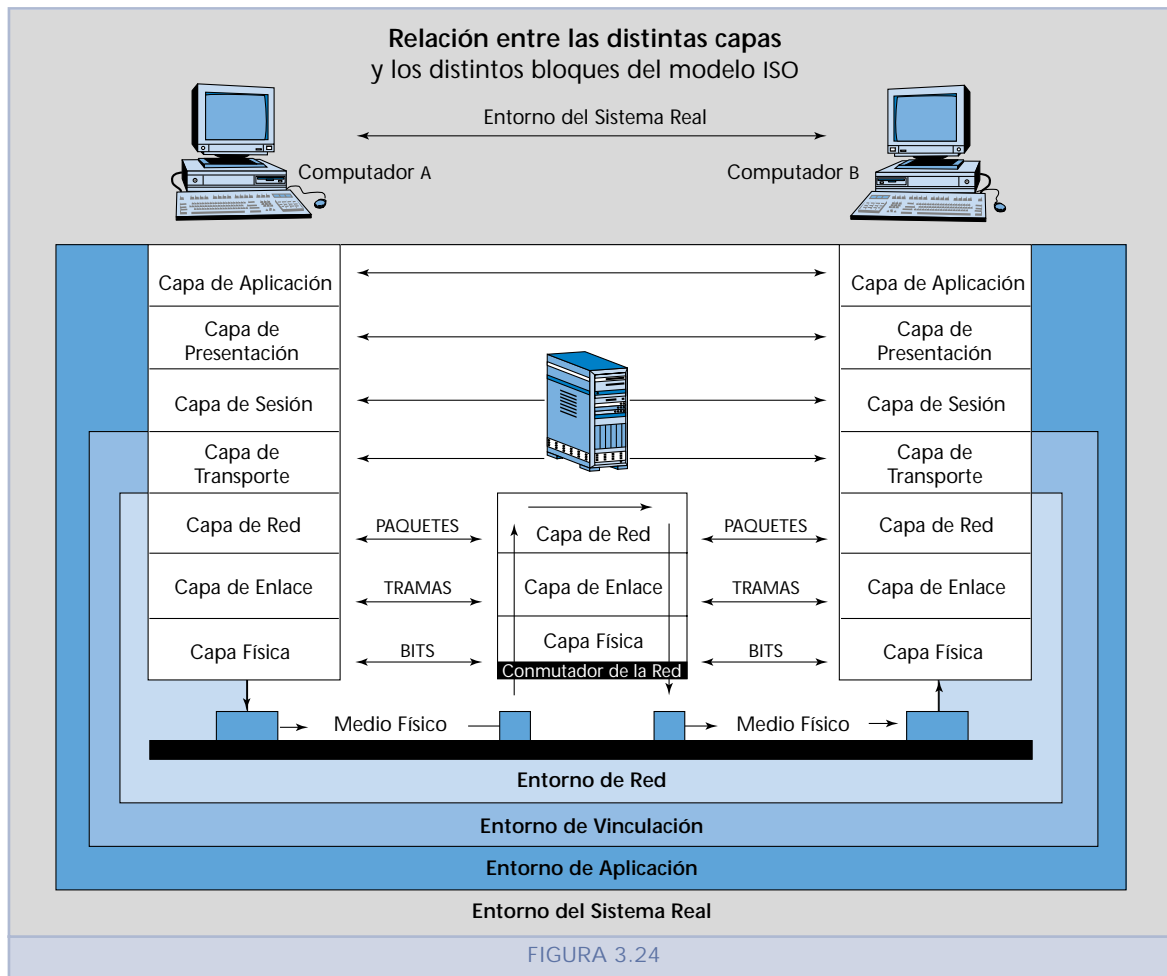
Según este modelo, al conjunto de datos generado en el equipo terminal que actúa de fuente se le va añadiendo, a través de los distintos protocolos de capa, la información necesaria para permitir el procesamiento del protocolo en el equipo que actuará como colector.

Cada conjunto de datos o información añadida se denomina **encabezamiento**³, y se van añadiendo a medida que se pasa de una capa a otra hasta llegar a la capa física; capa que finalmente procederá a la transmisión de los correspondientes bits hacia el otro extremo.

¹ Ya sea de *hardware* como de *software*.

² En inglés, *communication's subnetwork* o, más directamente, *subnet*.

³ En inglés se usa la expresión *header*; de ahí que las abreviaturas de los encabezamientos tengan una o dos letras que identifican la capa y la letra **H** de esta palabra.

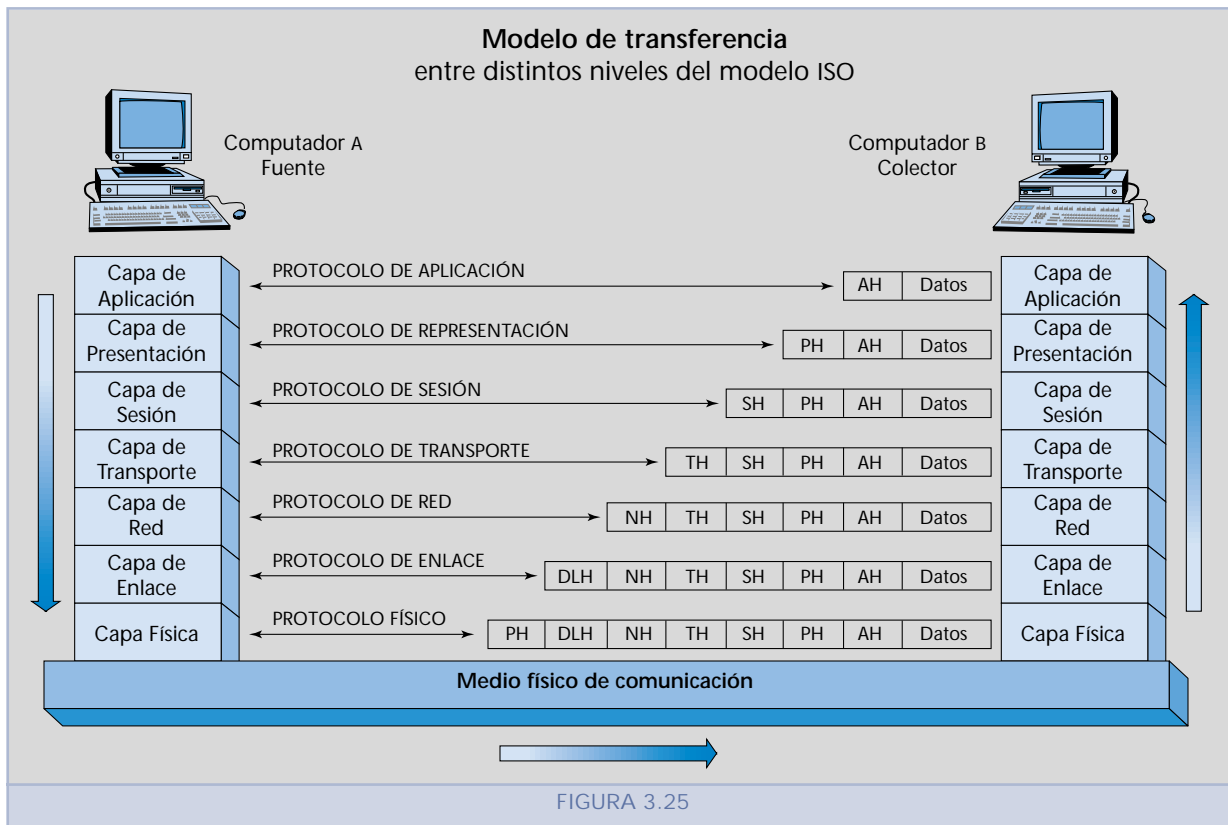


El conjunto de información compuesta por **encabezamientos + datos** recibe distintos nombres según el nivel en que están situados.

- A nivel de la capa de red se denominan **paquetes**.
- A nivel de la capa de enlace **tramas**.
- A nivel de la capa física se habla simplemente de **bits**.

Si se usaran las siete capas, los datos originales generados por la fuente irían acompañados por los siete encabezamientos generados por los siete protocolos de capa antes de pasar al medio físico; en ese caso los datos ocuparían menos del 50% de la información transmitida. De ahí que se busque simplificar el modelo.

La figura 3.25 muestra la forma en que se van añadiendo los diferentes encabezamientos en cada capa, hasta llegar al medio físico para su transmisión.



Funciones principales de las distintas capas 3.8.1.5

A continuación se describirán las principales funciones y servicios proporcionados por las distintas capas.

CAPA FÍSICA:

La **capa física** es la que conecta el computador con el medio de comunicaciones. Controla y codifica la corriente de bits y permite que ésta sea transferida hacia la red (comunicación con conmutación) o hacia otro computador (comunicación punto a punto, sin conmutación). En particular, establece cuáles son las especificaciones mecánicas, eléctricas y lógicas que permiten ejecutar los procedimientos necesarios para el ingreso de la información al medio.

CAPA DE ENLACE:

La **capa de enlace de datos** es la responsable de establecer, mantener y desactivar el enlace entre el equipo terminal que actúa como fuente y el que hará de colector. Permite la transferencia ordenada de las tramas generadas por el primero, facilita el flujo de información, detecta y corrige los errores que pudieron haberse cometido, y contiene la dirección de destino (si fuera en caso de una comunicación punto a punto o multipunto, sin conmutación). Esta capa, conjuntamente con la capa

física, normalmente son las mínimas necesarias para hacer posible una transferencia de datos a través de los medios de telecomunicaciones.

CAPA DE RED:

La **capa de red** es la que permite direccionar el tráfico de paquetes desde la fuente hasta una estación colectora remota. Mediante mecanismos de conmutación establece el camino que los paquetes deben seguir; es decir, utiliza la dirección física de equipo al cual se le va a transferir la información y los encamina hacia su destino de la manera más eficiente.

CAPA DE TRANSPORTE:

La **capa de transporte** es la que permite mantener la integridad de los datos de extremo a extremo (fuente a colector). Proporciona el encaminamiento y la segmentación, y luego su unión en el mensaje original transmitido. Recupera errores, si fuera el caso. Esta capa maneja mensajes.

CAPA DE SESIÓN:

La **capa de sesión** es la que maneja las disponibilidades de la red. Controla las memorias intermedias y verifica que la capacidad de procesamiento de ésta no se vea saturada por la cantidad de datos que se le transfieren; provee la sincronización entre los equipos terminales; y también se ocupa de verificar, si fuera el caso, la autenticidad del usuario, y el tipo de diálogo (simplex, semidúplex o dúplex).

CAPA DE PRESENTACIÓN:

La **capa de presentación** se ocupa de la sintaxis de los datos, la conversión de códigos (transcodificación), la encriptación o desencriptación (si fuera necesario su uso), la compresión y descompresión de la información, y todo otro tipo de funciones que se refieran a la modificación de los datos que originalmente fueron enviados por el computador, con el objeto de que se pueda realizar alguna tarea que resulta conveniente y necesaria para adaptar la comunicación a determinadas particularidades.

CAPA DE APLICACIÓN:

La **capa de aplicación** controla y ejecuta las actividades que requiere una determinada aplicación para que pueda ser transmitida hacia el otro extremo. Interactúa con el equipo terminal que genera o recibe la información procesada por los usuarios; facilita la transferencia de archivos y de mensajes de correo, emulando terminales virtuales, y permite el acceso a bases de datos remotas, o tareas que hacen al gerenciamiento de la red.

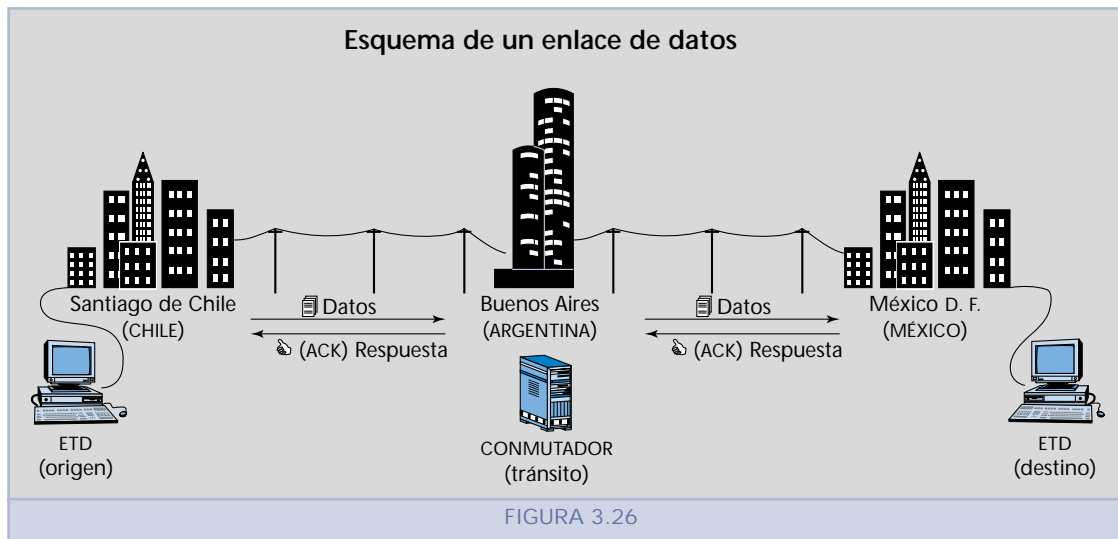
3.8.2 Protocolos de enlace de comunicaciones

3.8.2.1 Definición de protocolo de enlace de comunicaciones y de interfase

Se denomina protocolo de enlace de comunicaciones a lo siguiente:

*p*rotocolo de enlace de
comunicaciones

Conjunto de especificaciones técnicas que definen las condiciones físicas y los procedimientos lógicos que deben cumplirse para lograr la transferencia de datos de extremo a extremo (es decir, entre equipos terminales de datos corresponsales) de una red de comunicaciones.



Este conjunto de reglas que constituye un protocolo está destinado especialmente a normalizar las interfaces entre el equipo terminal de datos (ETD) y la red a la cual éste se encuentra conectado.

En la figura 3.26 se puede observar un enlace entre tres ciudades: Santiago de Chile, Buenos Aires y México. Los datos del ejemplo se originan en Santiago, pasan por Buenos Aires y se encaminan hacia la ciudad de México. Para garantizar la integridad de los datos, desde esta última ciudad se deberá enviar una **conformidad/ACK**¹, de forma tal que el terminal de Santiago de Chile tenga la seguridad de que los datos han llegado sin errores a su destino final.

Para la determinación de los errores se podría haber utilizado alguna técnica de detección, como, por ejemplo, la de los **Polinomios de Redundancia Cíclica (CRC)**. El intercambio de señales de control forma parte del protocolo, y éste, asimismo, dependerá del tipo de red.

Como se ha dicho a lo largo de este libro, el objetivo de los sistemas de transmisión de datos es el traslado de estos últimos, de un punto a otro de un circuito teleinformático, sin errores de transmisión. Para ello, se emplean técnicas básicas de comunicaciones que deben asegurar la transmisión de los datos en forma rápida, sin errores y al menor costo posible.

En ausencia de errores de transmisión, esto resulta relativamente sencillo de lograr, pero dado que en los circuitos reales se verifica su existencia, aparecen problemas de secuenciación, corrección de errores y de sincronismo. Es por ello que ante la presencia de canales con errores, se utilizan protocolos de comunicaciones que tienden a asegurar la secuencia correcta y la integridad de los datos.

¹ En inglés, ACK es la abreviatura de *Acknowledge* (acuse de recibo).

Dos equipos determinados¹ están asociados mediante una **interfase** que incluye elementos físicos concretos que permiten la interconexión entre ellos. Un ejemplo son las interfases **RS.232-C**, **RS.449** y **X.21**, que serán estudiadas en el capítulo 9 de esta obra.

Una interfase puede definirse de la siguiente manera:



Conjunto de normas y procedimientos que permiten la interconexión de dos equipos² que realizan funciones diferentes.

3.8.2.2 Objetivos más importantes que cumplen los protocolos

Los objetivos más importantes que cumplen los protocolos son:

- Utilizar con la mayor eficiencia posible el canal de comunicaciones.
- Asegurar la secuencia correcta e integridad de los datos.
- Permitir la operación de instalaciones punto a punto y multipunto.
- Ser independiente del modo de operación del canal de comunicaciones y de las características de transmisión.
- Presentar condiciones de transparencia, ante cualquier secuencia de bits que se transmitan por el canal.

3.8.2.3 Principales acciones que llevan a cabo los protocolos

Para el logro de los objetivos mencionados precedentemente los protocolos ejecutan las siguientes acciones:

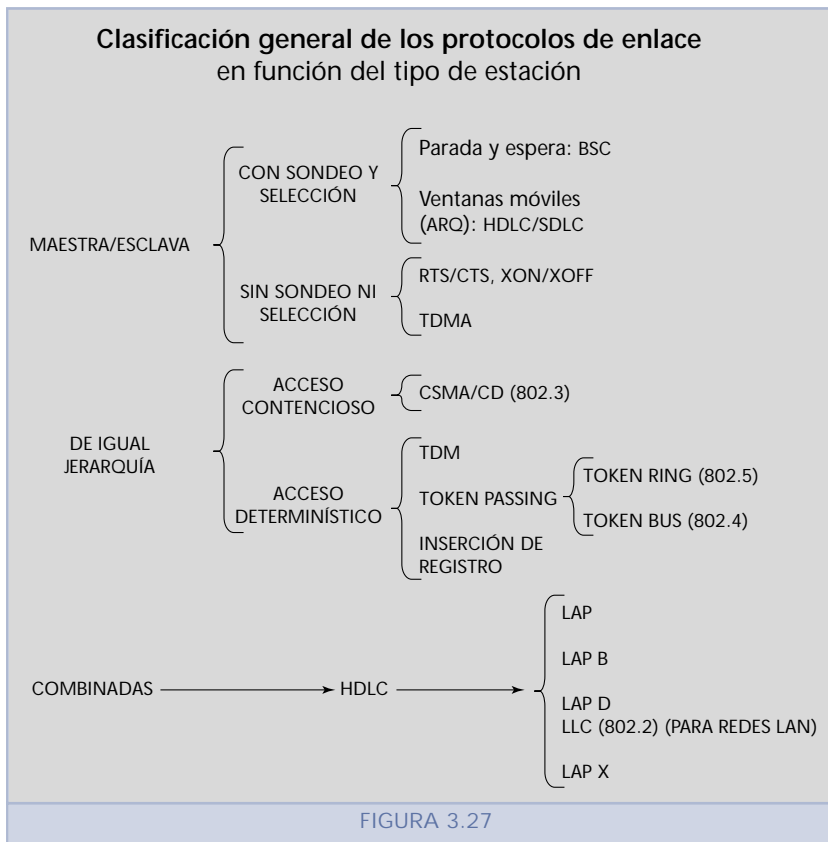
- Control del flujo de datos hacia la estación receptora, a efectos de no saturarla con un volumen de información superior al que puede manejar.
- Control de la actividad en el canal de comunicaciones para identificar la siguiente estación que realizará una intervención.
- Garantizar que los bloques de datos lleguen a su destino libre de errores, sin pérdidas u omisiones y sin duplicaciones indeseadas.
- Enviar bloques de datos en forma transparente, es decir, en forma independiente del código que se utiliza en la transmisión.
- Encaminar los datos hacia la estación destinataria.
- Informar a las estaciones involucradas en la transmisión de datos del estado operativo de cada una de ellas y de las líneas, de forma que las mismas sepan cuáles están activas y cuáles no.
- Encaminar los datos hacia la estación de destino con independencia de los **nodos intermedios** que deba atravesar (encaminamiento, *Routing*).

3.8.3 Clasificación de los protocolos de enlace

Una primera clasificación de los protocolos de comunicaciones que se puede hacer es en función de los equipos terminales de datos implicados en el enlace. Estos equipos pueden ser estaciones **maestra/esclava**, estaciones de **igual jerarquía** o estaciones **combinadas**. Estas últimas pue-

¹ Que en esta obra se denominarán genéricamente **hardware de comunicaciones**.

² Informáticos o de comunicación de datos.



den adoptar el carácter de maestras o esclavas dependiendo de la configuración del enlace. En la figura 3.27 se detalla la clasificación general de los protocolos de enlace en función del tipo de estaciones involucradas en el mismo.

Las que operan en un contexto **maestra/esclava** pueden clasificarse a su vez de acuerdo con su funcionamiento en:

- Estaciones con sondeo/selección.
- Estaciones sin sondeo/selección.

Por otro lado, aquellas estaciones que operan entre sí con igual jerarquía tienen la posibilidad de funcionar mediante dos procedimientos de acceso al medio de transmisión:

- Acceso contencioso.
- Acceso determinístico.

Finalmente, existen estaciones combinadas que funcionan con procedimientos denominados de **ventanas móviles** o de **ventanas deslizantes**, que se utilizan principalmente en las redes de transmisión de datos que cubren grandes áreas.

3.8.4 Protocolos orientados al carácter y protocolos orientados al bit

3.8.4.1 Aspectos generales

Los protocolos de enlace también se pueden clasificar según dos tipos: los **orientados al carácter** y los **orientados al bit**.

Esta clasificación es válida solamente para protocolos sincrónicos, por cuanto requiere que los relojes del transmisor y del receptor estén sincronizados, tanto para los protocolos orientados al carácter como para los orientados al bit.

Por otro lado, esta clasificación está en realidad indicando el momento en que fueron confeccionados, pues los primeros son protocolos más antiguos y los segundos de más moderna concepción.

La diferencia entre ambas concepciones está en que los campos que forman la trama en un caso están separados mediante caracteres de un código dado; mientras que los protocolos orientados al bit ocupan posiciones fijas previamente definidas.

3.8.4.2 Diferencias técnicas entre ambos tipos de protocolos

Técnicamente, en un protocolo orientado **al carácter** la información está organizada generalmente en tramas elementales cuyos campos están delimitados por caracteres correspondientes a un determinado código, que usualmente están dotados de un sistema de detección de errores a nivel de cada bloque.

Por **trama** se entiende un bloque de información subdividido en campos diferentes que se utilizan para determinadas tareas específicas.

Si el protocolo trabaja con un código de 8 bits por carácter, la trama de este tipo de protocolos deben tener un número de bits múltiplo de 8.

Por otro lado, las informaciones de control suelen estar codificadas en los mismos códigos de control del alfabeto de comunicaciones que utilizan. Por ejemplo, en el caso del protocolo denominado **BSC (Binary Synchronous Communication)** se usan los caracteres de control existentes en el mismo código ASCII o EBCDIC, tal como están codificados¹.

Este tipo de protocolos emplea tramas multiformato que en general son menos eficientes para lograr una transmisión transparente y requieren mecanismos más complejos para, por ejemplo, diferenciar cuando un carácter que se halla incluido en el campo de información es un dato o un comando de control.

En un procedimiento orientado al bit, la información está constituida por unidades elementales, por ejemplo octetos, sin que esta estructura sea tenida en cuenta en lo que se refiere a la comunicación, debido a que el conjunto de datos a transmitir se toma simplemente como una cadena de bits. Aun más, en una trama de un protocolo orientado al bit, el número N de bits de la misma puede tener un número arbitrario de bits (es decir, que no tiene necesidad de guardar una relación con el número de bits por byte del código que se esté usando).

¹ Ver apartado 5.3.5 y 5.4.1 del capítulo 5 de esta obra.

A diferencia del caso anterior, para las informaciones de control no se utilizan caracteres de ningún alfabeto, sino que se codifican en determinada posición del bloque. A este proceso se lo denomina **codificación posicional**.

Este tipo de protocolos emplea tramas monoformato y en general son más eficientes para lograr una transmisión transparente. Aquí los campos de control, dirección, etc., siempre ocupan las mismas posiciones.

En la figura 3.28 se indican algunos de los protocolos más utilizados orientados **al carácter** y **al bit**.

Protocolos orientados al carácter 3.8.5

Estos protocolos fueron los primeros en emplearse desde la década de 1970 y en general son incompatibles entre sí. Por otra parte, si bien han cedido el lugar a los protocolos orientados al bit, algunos todavía como el protocolo *BSC* se usan marginalmente.

En un protocolo orientado al carácter, cada trama debe ser transmitida como un conjunto continuo de caracteres sin solución de continuidad entre ellos. Cada carácter debe tener la cantidad de bits del código que se esté usando.

El receptor debe estar en condiciones, mediante el uso del reloj, de detectar el comienzo y el fin de cada carácter, **sincronismo de carácter**, y el comienzo y el fin de la trama, **sincronismo de trama**. El proceso de sincronización es independiente del contenido de la trama, es decir, la sincronización es transparente a los datos contenidos en la trama.

En la figura 3.29 se muestra el esquema general de una trama y en la figura 3.30, la forma en que se produce el sincronismo de trama.

El proceso comienza con la transmisión de un conjunto de bytes de sincronismo SYN, hasta que el receptor se sincroniza con el transmisor. A partir de ese momento, lograda la **sincronización de carácter**, se transmite el byte de comienzo de trama STX. Cuando el receptor recibe este carácter, comienza a comparar cada byte recibido con el carácter ETX. Si el resultado de la comparación es falso, entonces se almacena el byte recibido y el proceso continúa de la misma manera hasta que se recibe un carácter ETX de fin de trama. En ese momento se da por finalizada la recepción de esa trama y se procesa inmediatamente la información almacenada en ella. Sin embargo, después de recibida la trama se recibe un **BCC (Bloque de control de caracteres¹)**, para proceder al control de errores. Luego todo el proceso comienza nuevamente.

Referente a este bloque de control de errores se puede decir que normalmente se usa el método de control de paridad longitudinal² o el método de control de paridad bidimensional³, estudiados en los apartados 6.6.2.3 y 6.6.2.4 de esta obra.

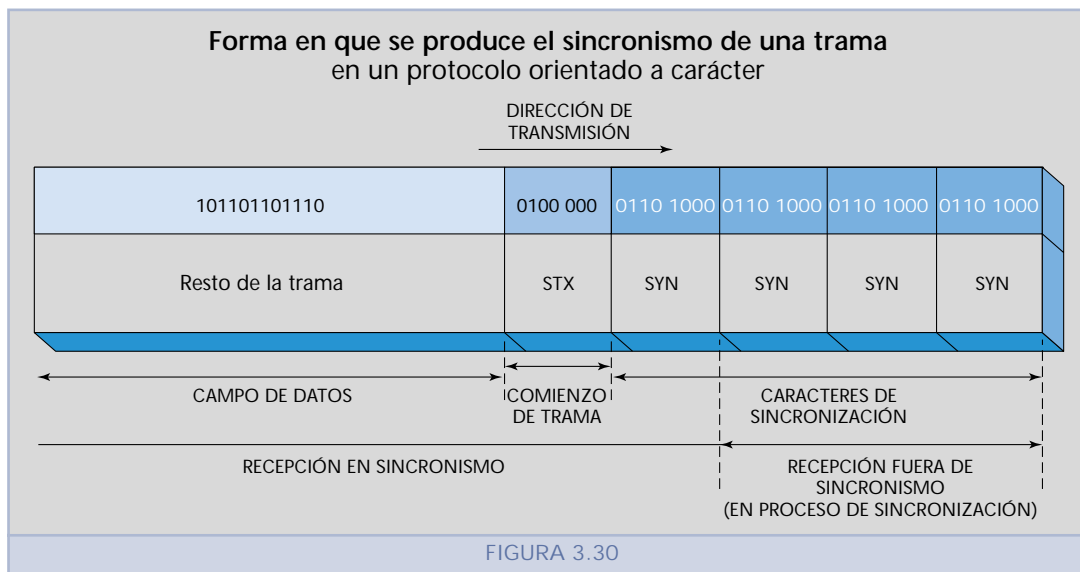
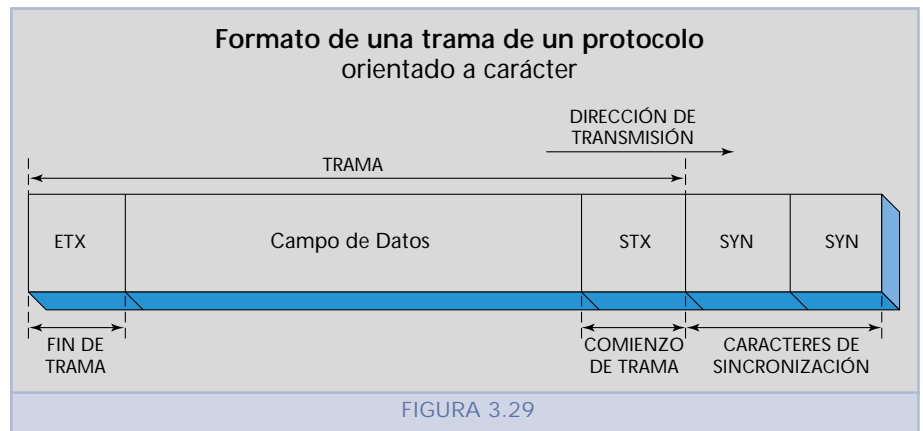
¹ En inglés, **Block Check Character**.

² *LRC (Longitudinal Redundancy Check)*.

³ *BCC (Block Check Character)*.

Protocolos orientados al carácter y al bit	
Al carácter	Al bit
BSC/IBM	SDLC/IBM
270/NCR	CDCCP/CDC
DS/1000/HP	BDLS BURROUGHS
UNISCOPE/ UNIVAC	HDLC/ISO
DDCMP/DEC	LAPB/CCITT

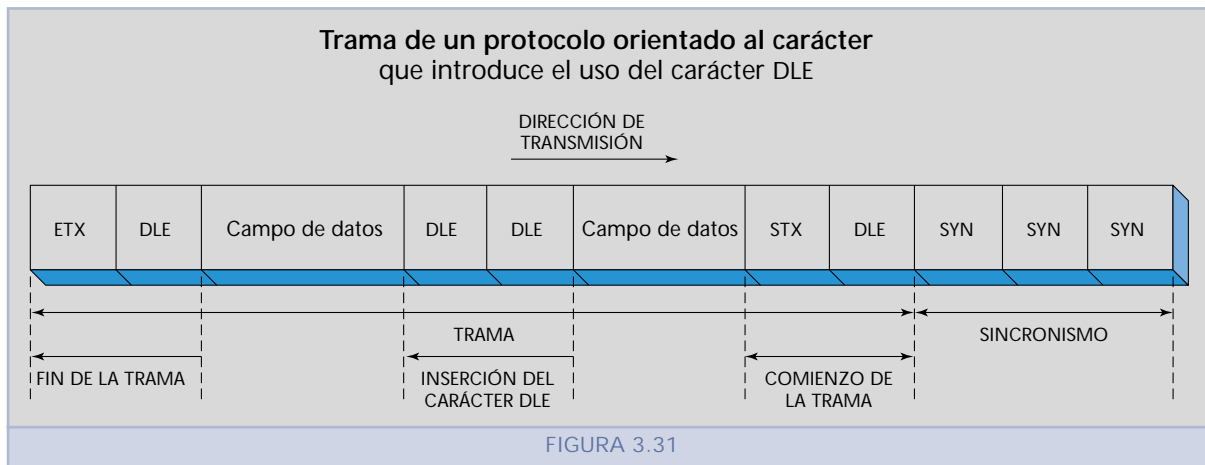
FIGURA 3.28



Si por algún error de transmisión aparece el carácter ETX en el bloque de datos de la trama, la transmisión se suspenderá inmediatamente en ese lugar, pues el receptor entiende que terminó la trama que se estaba almacenando. Por esta razón, en algunas aplicaciones donde el contenido de los campos de datos no responden a una secuencia de caracteres sino a una secuencia de bits, es necesario tomar medidas adicionales de precaución mediante el uso del carácter DLE.

En la figura 3.31 se puede observar la forma que tendría una trama de un protocolo orientado al carácter que usa el carácter DLE.

Este carácter, cuya función es la de cambiar el significado de otro carácter seleccionado en el proceso de transmisión, se introduce delante de los caracteres de comienzo y fin de trama a fin de producir su validación. En efecto, cuando se usa este carácter, es necesario que los caracte-



res STX y ETX deban estar precedidos del carácter DLE para que el receptor los reconozca (secuencias DLE/STX ó DLE/ETX).

De esta manera, si por alguna razón apareciera un conjunto de bits que se corresponden con los caracteres señalados, solamente se considerarían válidos en las condiciones explicadas en el párrafo anterior.

De la misma manera, si en la corriente de bits apareciera una secuencia que se correspondiese con el carácter DEL, el transmisor debería agregar un carácter DEL adicional para significar que no tiene un sentido de control de transmisión, sino que sólo se trata de datos de la trama.

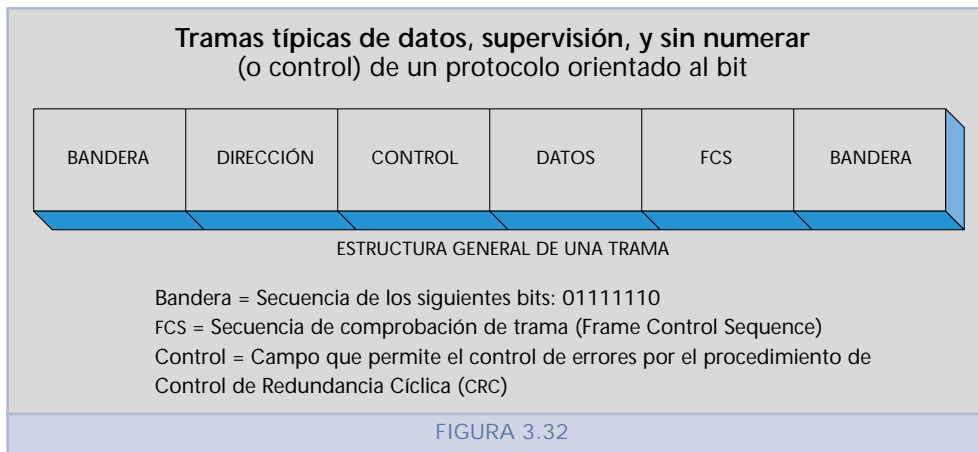
Debido a algunas de sus deficiencias, como son su fuerte dependencia del alfabeto utilizado, la poca posibilidad de lograr transmisiones totalmente transparentes y los formatos variables que tienen las tramas del mensaje que se va a enviar, estos protocolos han sido sustituidos, poco a poco, por protocolos orientados al bit.

Protocolos orientados al bit 3.8.6

Estos protocolos tiene características que los han convertido en especialmente aptos para el enlace entre computadores. Entre otras, presentan las siguientes características favorables:

- Permiten operar en modo dúplex completo.
- Poseen una sólida protección contra el ruido (lo que permite comunicaciones más fiables).
- Tienen un único formato, tanto para sus estructuras de control como para las estructuras de datos (esto simplifica su implementación en diferentes tipos de hardware informático).
- Tienen, sobre todo, una gran transparencia y eficiencia en la transmisión de la información.

Por otra parte, en este tipo de protocolo el número total de bits no tiene que ser necesariamente múltiplo de ocho.



Los campos que abren y cierran las tramas (tanto de control, supervisión, como de datos) se denominan banderas o delimitadores y se trata en todos los casos de la misma secuencia de bits, a saber **0111 1110**. La figura 3.32 muestra la forma que tienen las tramas de un protocolo orientado al bit.

Para asegurar la transparencia de la trama, se usa un procedimiento que se llama de inserción de ceros de relleno. Este procedimiento consiste en agregar ceros adicionales en caso de que el transmisor detecte cinco unos seguidos dentro de la trama. En ese caso, procede de inmediato a insertar un cero, para que la secuencia no pueda ser confundida con una bandera de fin de trama. De la misma manera, el receptor procede a eliminar los ceros adicionales introducidos por el transmisor.

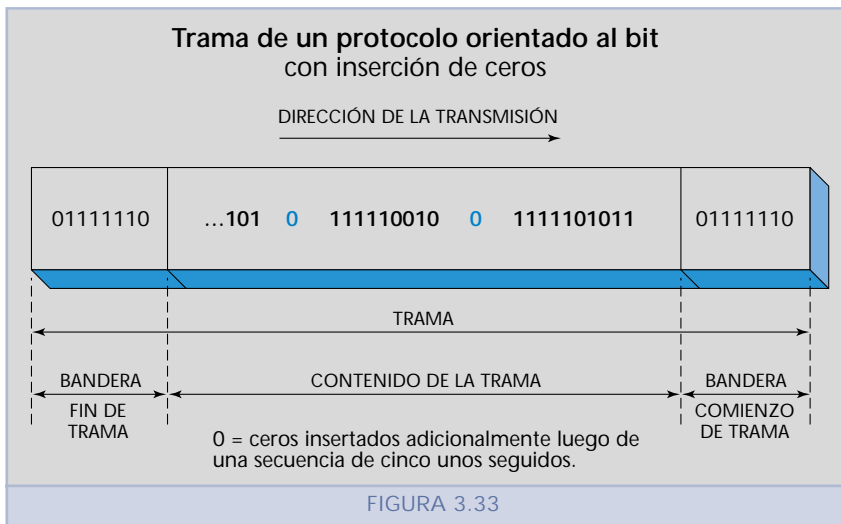
Las tramas de un protocolo orientado al bit contienen al final del campo de datos un conjunto de bits que se utilizan para el control de errores. Cabe aclarar que los ceros que se agregan (en el transmisor) o se suprimen (en el receptor) no están incluidos en el esquema de control antes señalado.

La figura 3.33 muestra la forma en que se insertan ceros en una trama de un protocolo orientado al bit, que contiene más de cinco unos seguidos.

3.8.7 Clasificación de los protocolos en base al concepto de arquitecturas de comunicaciones

3.8.7.1 Definición de arquitectura de comunicaciones

Definiremos **Arquitectura de Comunicaciones**, o simplemente de red como sigue:



Precisamente es posible hacer otra clasificación de los protocolos según las diferentes arquitecturas de comunicaciones en las que están capacitados para funcionar. Desde este punto de vista, los protocolos se pueden clasificar en **estructurados** o **actuales** (que responden a determinadas arquitecturas de comunicaciones) y **no estructurados** o **clásicos** (que no responden a ninguna arquitectura de comunicaciones y solo son disciplinas de línea).

Protocolos estructurados 3.8.7.2

Los protocolos estructurados están confeccionados para realizar las distintas funciones, que en las arquitecturas de comunicaciones cumplen los diferentes niveles o capas, en la que se encuentran estratificadas dichas arquitecturas.

A su vez, las arquitecturas de comunicaciones en sus distintas capas, proporcionan un número mayor de funciones, que las que ofrecen los protocolos no estructurados, basados en disciplinas de líneas. Las arquitecturas de comunicaciones modernas están generalmente relacionadas con el modelo de referencia OSI, que se describe a continuación.

Entre las arquitecturas de comunicaciones más importantes, podemos distinguir las siguientes:

- Arquitectura **OSI (Open Systems Interconnection¹)**. Esta arquitectura, que se está transformando en un estándar mundial, fue diseñada conjuntamente por la **Organización Internacional de Normalización (ISO)** y la **Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T)**. Entre los protocolos que responden a esta arquitectura se puede citar el protocolo **HDLC (High Level Data Link Control)**, protocolo de nivel de enlace orientado al bit).

¹ Interconexión de Sistemas Abiertos.

- **Arquitectura SNA (Systems Network Architecture¹).**

Desarrollada por la empresa **IBM (International Business Machines)** para los protocolos de comunicaciones utilizados en sus equipos informáticos. Es una típica arquitectura propietaria. Entre los protocolos que responden a esta última arquitectura se puede citar el protocolo **SDLC (Synchronic Data Link Control**, protocolo de nivel de enlace orientado al bit).

- **Arquitectura DNA (Distributed Network Architecture²).** Desarrollada por la empresa **DEC (Digital Equipment Corporation)** para los protocolos de comunicaciones utilizados en sus equipos informáticos. Es también una típica arquitectura propietaria. Entre los protocolos que responden a esta arquitectura se puede citar el protocolo **DDCMP (Digital Data Communications Message Protocol**, protocolo de enlace orientado al carácter).

- **Arquitectura DARPA (Defense Advanced Research Project Agency³).** Arquitectura desarrollada por el **Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América⁴**, que está mundialmente considerado como el mayor comprador de computadores del mundo entero, para sus necesidades específicas. Un típico protocolo de esta arquitectura es la conocida suite de protocolos denominados **TPC/IP (Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Interconexión⁵)** que se corresponden con los niveles tres y cuatro del modelo de capas.

3.8.7.3 Protocolos no estructurados

Estos protocolos se confeccionaban y optimizaban según las necesidades específicas de los usuarios y el tipo de aplicación que éstos requerían.

Los protocolos no estructurados o clásicos están generalmente basados en disciplinas de líneas, que consisten en el ordenamiento de las etapas o fases que conforman el establecimiento de una comunicación de datos; es decir, la conexión, la transferencia de la información, el control de errores y la desconexión.

Entre estos protocolos podemos citar precisamente el **BSC (Binary Synchronous Control)** de la década de 1970, que está basado en la técnica de disciplina de línea, se orienta al carácter y trabaja en la modalidad semidúplex. ■

¹ Arquitectura para Redes de Sistemas.

² Arquitectura para Redes Distribuidas.

³ Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados para la Defensa.

⁴ Conocido como **US (Department of Defense) DOD**.

⁵ Conocidos por su denominación en inglés **Transmission Control Protocol/Internet Protocol**.

Ejercicios planteados del capítulo 3

A. Problemas a resolver

1. Representar gráficamente la señal de transmisión típica del Servicio Télex ($V_m = 50$ baudios). Hallar el ancho de pulso y el tiempo de transmisión de un carácter.
2. Con los datos del ejercicio anterior, calcular la cantidad de caracteres que se transmiten durante dos minutos si se supone que los mismos se envían sin tiempo muerto, o sea, uno a continuación del otro.
3. Indicar en qué condiciones la velocidad de modulación es igual a la velocidad de transmisión.
4. Para un canal que transmite en modo serie, calcular la velocidad de transmisión, para el caso de utilizar tribits y tener pulsos de ancho $\tau = 416,66 \mu s$.
5. Para un sistema que transmite a 2400 baudios se quiere aumentar la velocidad a 7200 bps. Indicar cómo se logra y cuál es el ancho de pulso resultante.
6. Calcular el tiempo total de transmisión de 1000 caracteres enviados uno a continuación de otro en un sistema de transmisión asincrónica de 75 baudios. El código utilizado es el pseudobaudot.
7. Calcular el rendimiento de transmisión asincrónica que utiliza un código que tiene 1 bit de arranque, 2 de parada, 1 de paridad y 7 de datos.
8. Calcular el rendimiento de una transmisión sincrónica cuando se envían bloques de datos de 1024 bytes y se utilizan 5 bytes de cabecera y 10 bytes de terminación.
9. Dado el siguiente mensaje

$$001101101010011110111001$$

transmitido en forma sincrónica y a una velocidad de modulación de 1200 baudios, se requiere utilizar una transmisión multinivel para pasar a 3600 bps.

Representar gráficamente las señales resultantes con y sin transmisión multinivel y calcular el tiempo total de transmisión en ambos casos.
10. Dada una transmisión sincrónica de 1024 bytes, y si no se considera la cabeza y la cola de dicha transmisión, determinar la disminución del rendimiento si se utiliza una transmisión asincrónica mediante un código que emplea 8 bits de datos, 1 de paridad, 1,5 de parada y 1 de arranque. Para ambos casos se emplea una velocidad de modulación de 1200 baudios. Indicar también el tiempo total de transmisión.
11. Calcular la relación señal a ruido para los siguientes casos:
 - a. $\Delta f = 3000 \text{ Hz}$
 $C = 10\,000 \text{ bps}$
 - b. $\Delta f = 10\,000 \text{ Hz}$
 $C = 10\,000 \text{ bps}$
 - c. $\Delta f = 1 \text{ kHz}$
 $C = 10 \text{ Kbps}$
12. Calcular la máxima velocidad transmisión [bps] de un canal telefónico e indicar que tipo de módem alcanza dicha velocidad.

$$f = 3000 \text{ Hz}$$

$$S/N = 30 \text{ db}$$
13. Si el factor de mérito de una compresión en una transmisión es del 25% calcular la longitud original de un conjunto de datos si la longitud comprimida es de 50 Kbytes.
14. Si la longitud original de un archivo es de 150 Kbytes y la del mismo archivo comprimido 100 Kbytes. Determinar el índice y el factor de mérito de la compresión.
15. Dada la fecha 21 de octubre de 1998, utilizar un criterio de compresión lógica e indicar el factor de mérito de compresión obtenido.
16. Construir un ejemplo de compresión física de datos dado el siguiente conjunto de caracteres:

$$\text{AGNSDJIERTbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbNXBVSTF}$$

$$\text{WRDE}$$

Indicar el índice de compresión obtenido.
17. Construir un ejemplo de intercambio de tramas entre una estación maestra y una esclava para el caso de sondeo y selección.
18. Para el caso de un enlace no equilibrado entre una estación maestra y varias esclavas, indicar cómo se podría efectuar el intercambio de tramas entre dos esclavas.
19. Construir una trama de un protocolo orientado al carácter que contenga los siguientes campos: encabezamiento, datos y BCC. Utilizar caracteres de control del código ASCII.
20. Indicar cómo se podría lograr que el campo de datos de la trama del ejercicio anterior sea transparente al código.

21. Para un protocolo orientado el bit, indicar cómo se obtiene la transferencia de la bandera o delimitador.
22. Indicar cómo resuelve el equipo receptor la identificación del delimitador del ejercicio anterior en el caso del Protocolo HDLC.

B. Temas a desarrollar

1. Determinar las diferencias entre el protocolo HDLC y el SDLC.
2. Evaluar los circuitos integrados digitales que posibilitan la transmisión asincrónica y la sincrónica.
3. Indicar los métodos de compresión de datos utilizados en los módems de 56 Kbps.
4. Determinar el tipo de transmisión multinivel que utiliza un módem V.34.
5. Analizar los diferentes métodos de compresión de datos más utilizados en los sistemas teleinformáticos. ■