



Capítulo 3:

Técnicas de la transmisión de la información

Apoyo en la





En este capítulo se tratarán los siguientes temas:

- **3.1 Introducción**
- **3.2 Elementos sobre transmisión de la información**
- **3.3 Medidas de la velocidad en la transmisión de información**
- **3.4 Características de un enlace de datos**
- **3.5 Canales de comunicaciones**
- **3.6 Capacidad de un canal**
- **3.7 Concepto de velocidad máxima de transmisión**
- **3.8 Ruido**
- **3.9 Distorsión**
- **3.10 Errores en el proceso de transmisión de datos**
- **3.11 Corrección de errores**



Técnicas de la transmisión de la información

3.1 Introducción

- En los sistemas de transmisión de datos utilizados en las redes de telecomunicaciones, se emplean técnicas específicas que se exponen en el presente capítulo. Se comenzará con una introducción general a las redes de telecomunicaciones, especialmente a su arquitectura y topología.
- Se analizarán los principales parámetros empleados en informática, como Byte, bloque, palabra, velocidades de transmisión y modulación; y se estudiarán los canales utilizados en la transmisión de datos, ideales y reales. En el caso de los canales reales, se verá en particular el efecto que sobre ellos producen el ruido, la atenuación y la distorsión, como factores que inducen la generación de errores.
- Sobre la base de los estudios de Nyquist, Shannon y Hartley, se mostrará cómo se llega a determinar la capacidad de un canal de comunicaciones, con ruido y sin él.
- También, ante la presencia de los errores en los canales reales, se analizarán los principales métodos de detección y corrección más utilizados en los protocolos de comunicaciones actuales.
- Por último, también se incluye una introducción a la teoría de la información, la cual nos permite hallar la tasa de información de las fuentes y relacionarla con la capacidad de los canales de comunicaciones.



Técnicas de la transmisión de la información

3.2 Elementos sobre transmisión de la información

3.2.1 Introducción a las redes de telecomunicaciones

La necesidad de que varios usuarios de un mismo servicio de telecomunicaciones puedan comunicarse entre sí y, además, optimizar los medios instalados para ese propósito ha llevado al concepto de red de telecomunicaciones.

Definiremos como red de telecomunicaciones al conjunto de medios técnicos instalados, operados, organizados y administrados con la finalidad de facilitar a los usuarios los distintos servicios de comunicaciones disponibles.



Técnicas de la transmisión de la información

3.2.1 Introducción a las redes de telecomunicaciones

En el presente las redes brindan velocidades adecuadas a la demanda, confiabilidad, algunas tecnologías más elaboradas y calidad de servicio. Estas características son fundamentales para las distintas prestaciones que se requieren, y que se han ido transformando en imprescindibles para el mundo de los negocios. A su vez, las redes deben tener una cobertura global, entendiendo por ella cualquier lugar del planeta en cualquier circunstancia de tiempo. De allí la importancia que tomaron las comunicaciones móviles, que en la actualidad trabajan integradas por completo a las redes fijas.



Técnicas de la transmisión de la información

3.2.1 Introducción a las redes de telecomunicaciones

La misión que todas las redes de telecomunicaciones deben cumplir con la mayor eficiencia es actuar de nexo entre las fuentes de la información que permiten brindar los distintos servicios vinculados a ella, y los usuarios o sumideros, entendiendo por tales aquellos lugares donde la información, una vez procesada u obtenida, será almacenada para su uso.



Técnicas de la transmisión de la información

3.2.2 Estructura general de una red de telecomunicaciones

La arquitectura de una red de telecomunicaciones está compuesta por tres zonas, con independencia de la mayor o la menor complejidad que pueda presentar. Estas se denominan:

- Zona de la red o núcleo.
- Zona de acceso.
- Zona del usuario.



Técnicas de la transmisión de la información

3.2.2 Estructura general de una red de telecomunicaciones

Se muestra un ejemplo del esquema de una red de telecomunicaciones como el señalado. Se puede observar la zona de red o núcleo y los nodos interconectados con enlaces troncales, en general de alta velocidad. Asimismo, se ven varias zonas de usuario con distintas configuraciones. Algunas son muy simples y otras tienen mayor complejidad. Por último, hay una zona intermedia o de acceso que está formada por vínculos de distinto tipo que unen la zona de red con la de usuario.



Técnicas de la transmisión de la información

3.2.2 Estructura general de una red de telecomunicaciones

En las distintas zonas descriptas las redes de telecomunicaciones modernas están constituidas básicamente por los siguientes elementos:

Nodos

- Comutación
- Concentración

Enlaces de comunicaciones

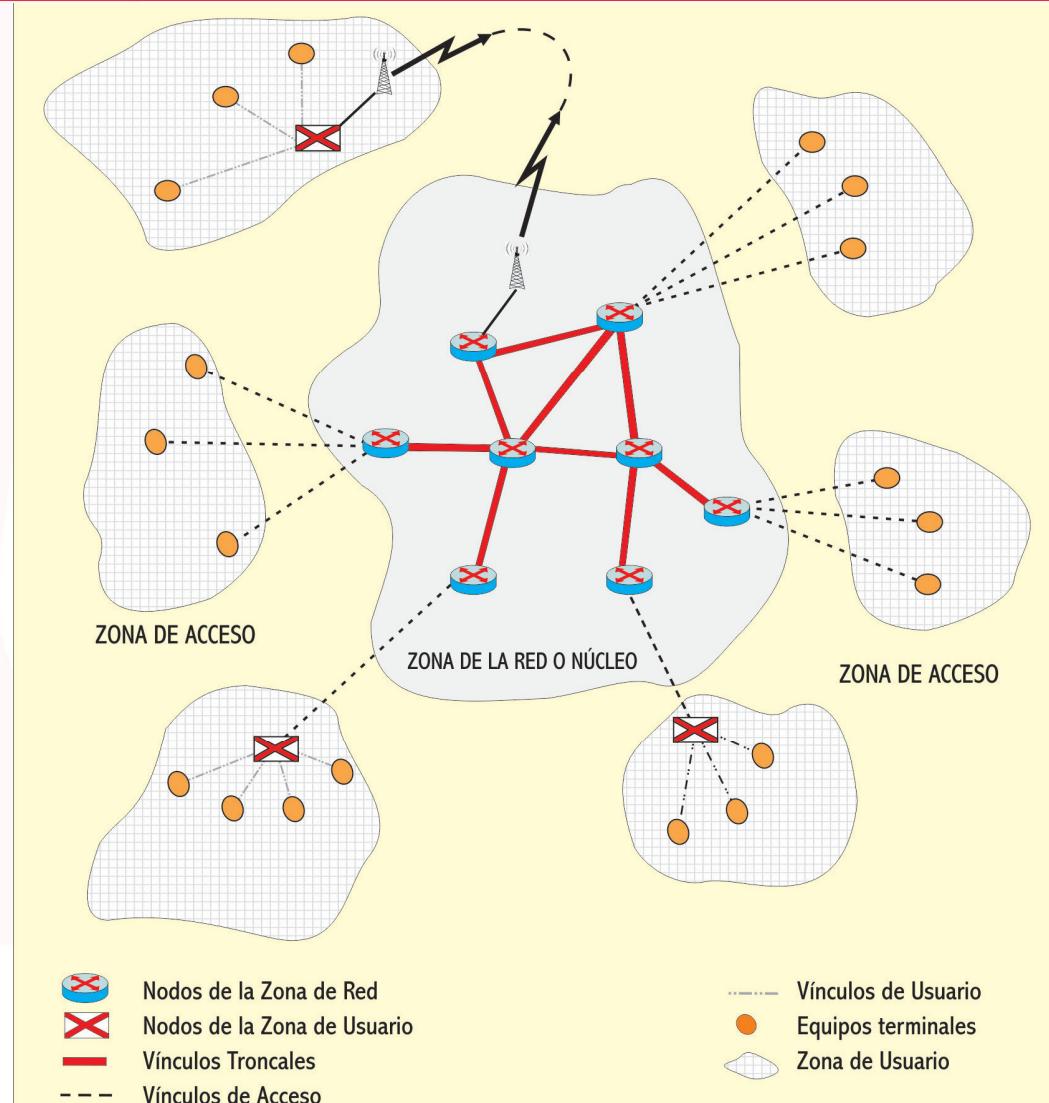
- Troncales
- De acceso
- Locales

Equipos terminales

- Telefónicos
- Datos
- Video
- Otros



3.2.2 Estructura general de una red de telecomunica ciones





Técnicas de la transmisión de la información

3.2.3 Definiciones utilizadas en comunicaciones

Como se indicó antes, los nodos de las redes de telecomunicaciones cumplen funciones de conmutación o concentración de los vínculos de comunicaciones.

Definiremos como vínculos de comunicaciones a los distintos medios físicos que permiten unir dos nodos cualesquiera de una red. Los vínculos se pueden establecer por medios físicos, como cables de cobre, coaxiles, fibras ópticas, cables submarinos, etc., o por medios inalámbricos, a través de equipos que permiten esas comunicaciones, como sistemas de microondas, satelitales, radioeléctricos, entre otros.



Técnicas de la transmisión de la información

3.2.3 Definiciones utilizadas en comunicaciones

Los *nodos de la red* tienen equipos de conmutación que permiten realizar esta función importante. Sin embargo no todas las comunicaciones requieren el uso de la conmutación.

Para efectuar una comunicación en una Red de Telecomunicaciones es necesario establecer un enlace de comunicaciones.

Definiremos como enlace de telecomunicaciones al vínculo que es necesario establecer y mantener entre dos equipos terminales, con el objeto de intercambiar en forma remota señales inteligentes que permitan utilizar uno de los tantos servicios de comunicaciones disponibles.



Técnicas de la transmisión de la información

3.2.4 Teleinformática

3.2.4.1 Definición y concepto de teleinformática

La palabra teleinformática es la contracción de las palabras telecomunicaciones e informática. Otro tanto ocurre con la palabra telemática. Se podría afirmar que en ella se reúnen los aspectos técnicos de ambas especialidades. Tradicionalmente estas técnicas se desarrollaron en forma independiente, pero en la actualidad su interdependencia es cada vez mayor.

Se podría definir la teleinformática como la especialidad que estudia el conjunto de técnicas necesarias para transmitir datos dentro de un sistema informático entre puntos situados en lugares remotos, a través de redes de telecomunicaciones.



Técnicas de la transmisión de la información

3.2.4.2 *Sistemas teleinformáticos*

Se entienden por sistemas teleinformáticos los sistemas funcionales de comunicación de datos, que implican formas de trabajo. En general responden a necesidades concretas de los usuarios informáticos que trabajan en la modalidad fuera de planta o remota.

La cantidad de sistemas de este tipo es muy diversa y responde a las necesidades de cada clase de usuario en particular.

Algunos de ellos son los siguientes:

Gestión remota de archivos

Sistemas teleinformáticos interactivos

Sistemas teleinformáticos de control de procesos



Técnicas de la transmisión de la información

3.2.5 Conceptos utilizados en transmisión de datos

3.2.5.1 Definición y concepto de transmisión de datos

A diferencia de otros servicios de comunicaciones, los servicios de transmisión de datos presentan características especiales.

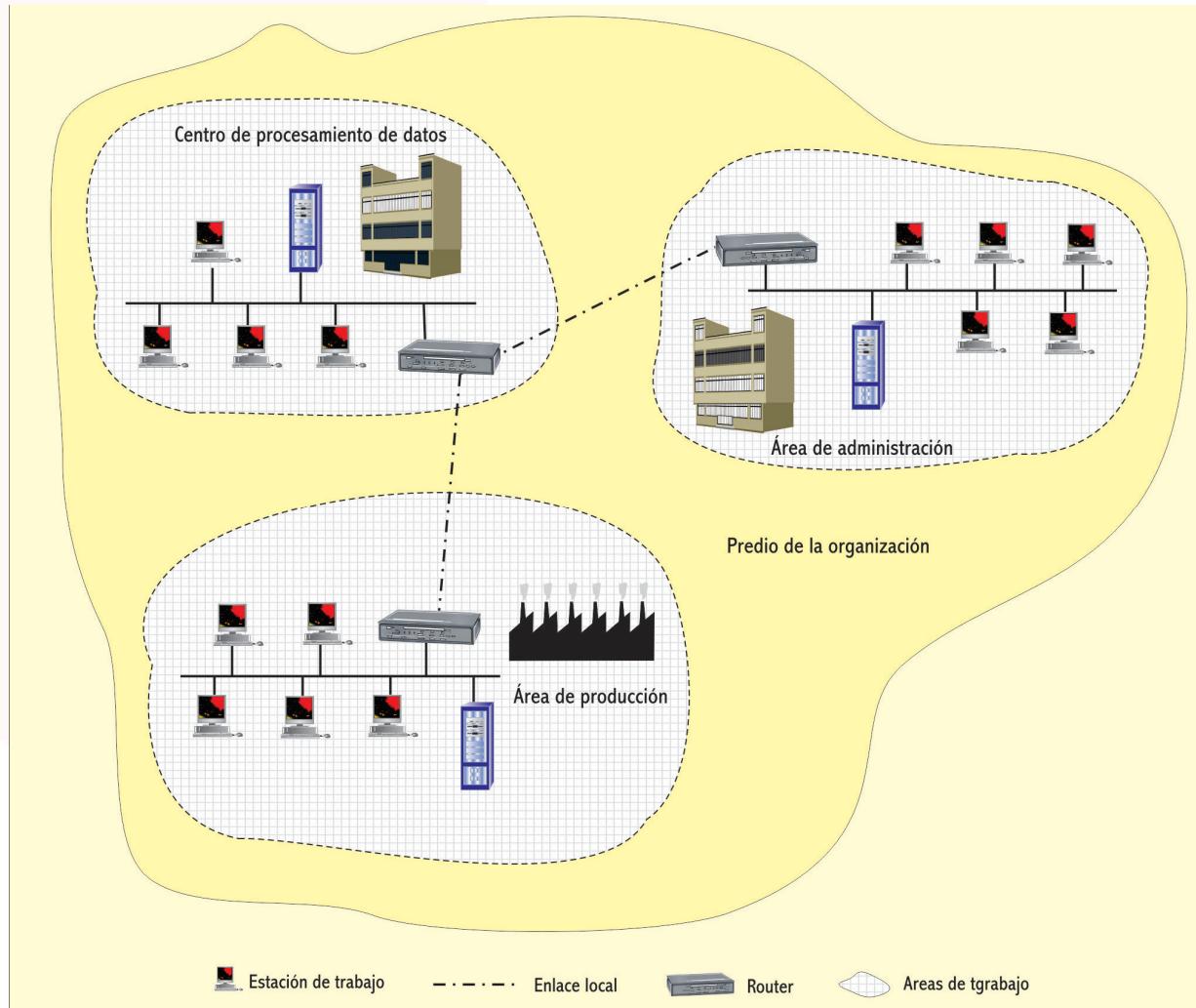
En su recomendación X.15, la UIT-T define la transmisión de datos como la acción de enviar datos a través de un medio de telecomunicaciones, desde el lugar de origen a otro de recepción.

Este es el caso sencillo de una central telefónica con su red correspondiente, o un servidor que a su vez tiene conectadas, dentro de un edificio o en una superficie geográfica reducida, una serie de computadoras personales. En la figura a continuación puede verse esta disposición.



Técnicas de la transmisión de la información

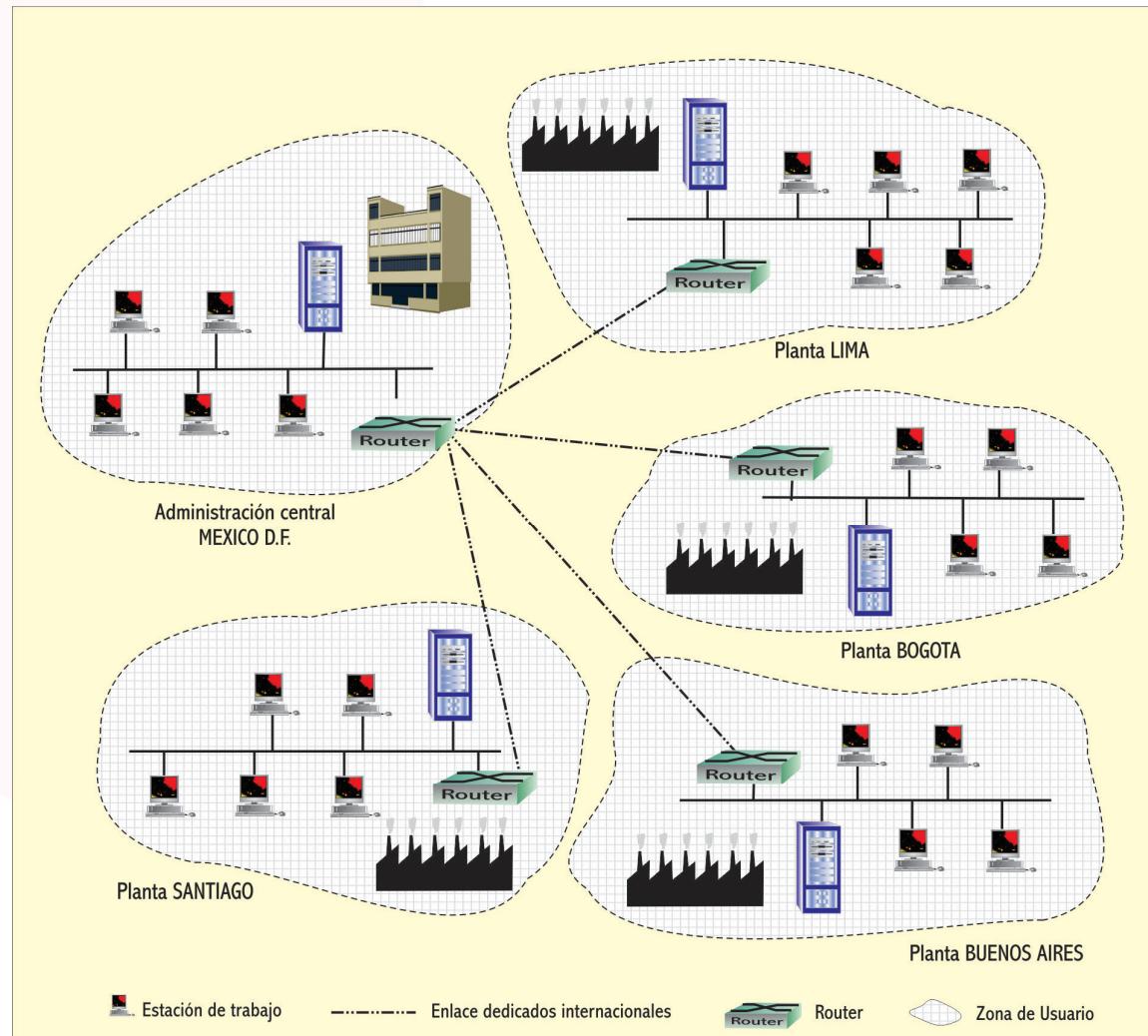
3.2.5.1 Definición y concepto de transmisión de datos





Técnicas de la transmisión de la información

3.2.5.1 Definición y concepto de transmisión de datos





Técnicas de la transmisión de la información

3.2.5.2 Definición y concepto de enlace y circuito de datos

Es conveniente visualizar con rapidez los elementos que componen lo que denominaremos un enlace de datos y un circuito de datos, pues sobre ellos efectuaremos consideraciones especiales al hacer el estudio de sus distintas partes y componentes.

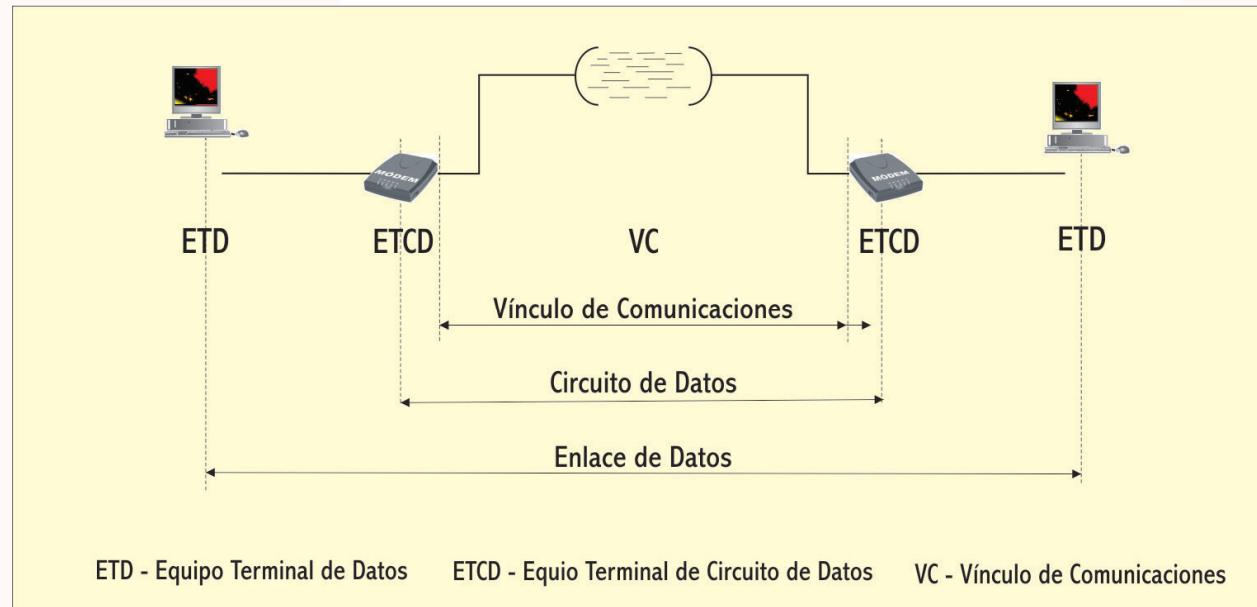
La finalidad de establecer un enlace de datos es permitir la intercomunicación de un equipo terminal de datos (ETD), denominado fuente, con otro equipo, denominado colector a través de un enlace de comunicaciones, que puede ser parcial o totalmente analógico o digital.



Técnicas de la transmisión de la información

3.2.5.2 Definición y concepto de enlace y circuito de datos

Esquema de un enlace de datos.





Técnicas de la transmisión de la información

3.2.5.2 Definición y concepto de enlace y circuito de datos

La UIT-T define al enlace de datos como el conjunto formado por la red de interconexión y distintas instalaciones terminales, que funciona según un modo específico y permite el intercambio de información entre instalaciones terminales.

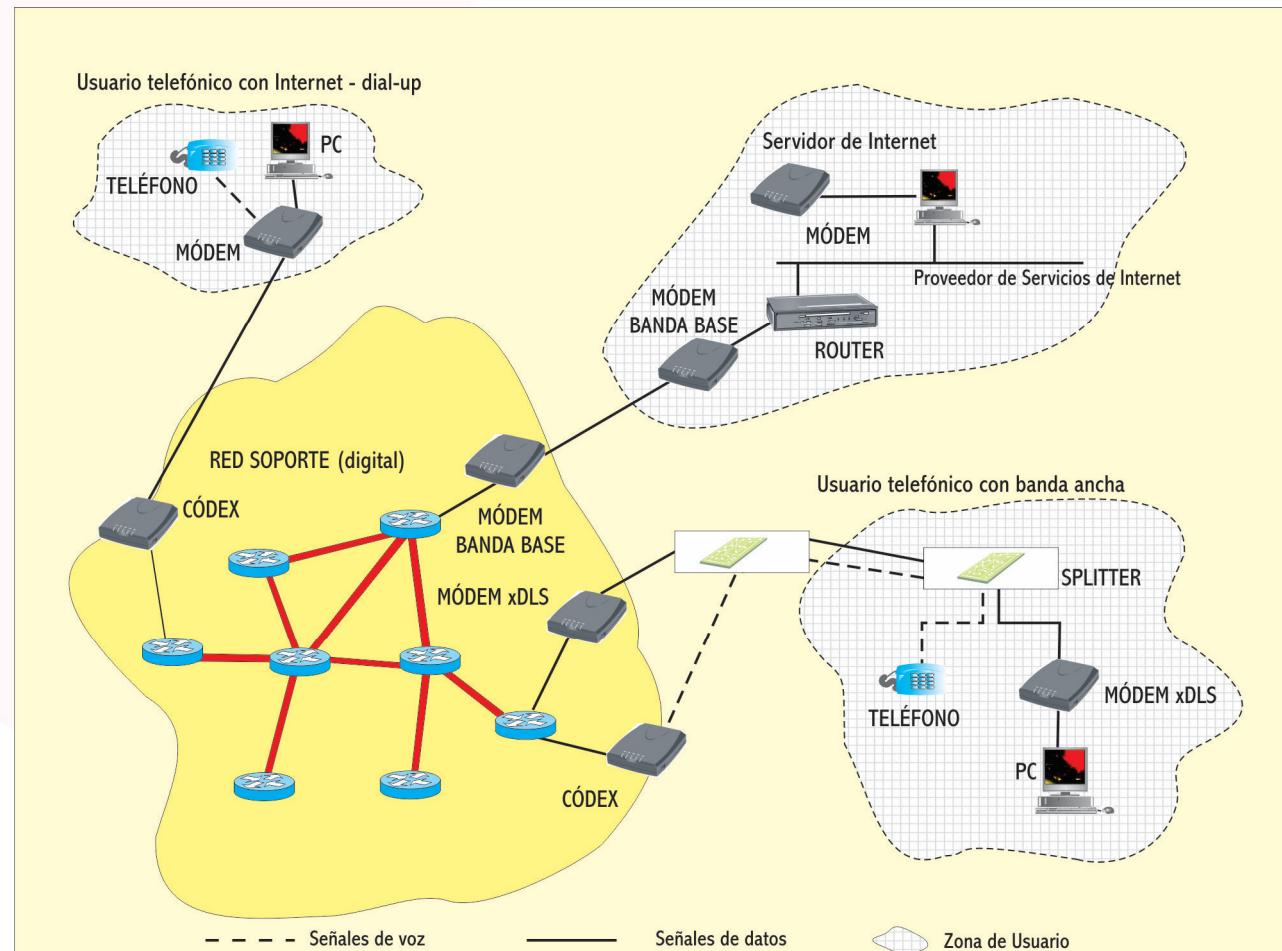
En un circuito teleinformático el enlace de datos está formado por:

- Equipos terminales de datos (ETD).
- Equipos terminales del circuito de datos (ETCD).
- Vínculo de comunicaciones (VC).



Técnicas de la transmisión de la información

3.2.5.2 Definición y concepto de enlace y circuito de datos





Técnicas de la transmisión de la información

3.2.5.2 Definición y concepto de enlace y circuito de datos

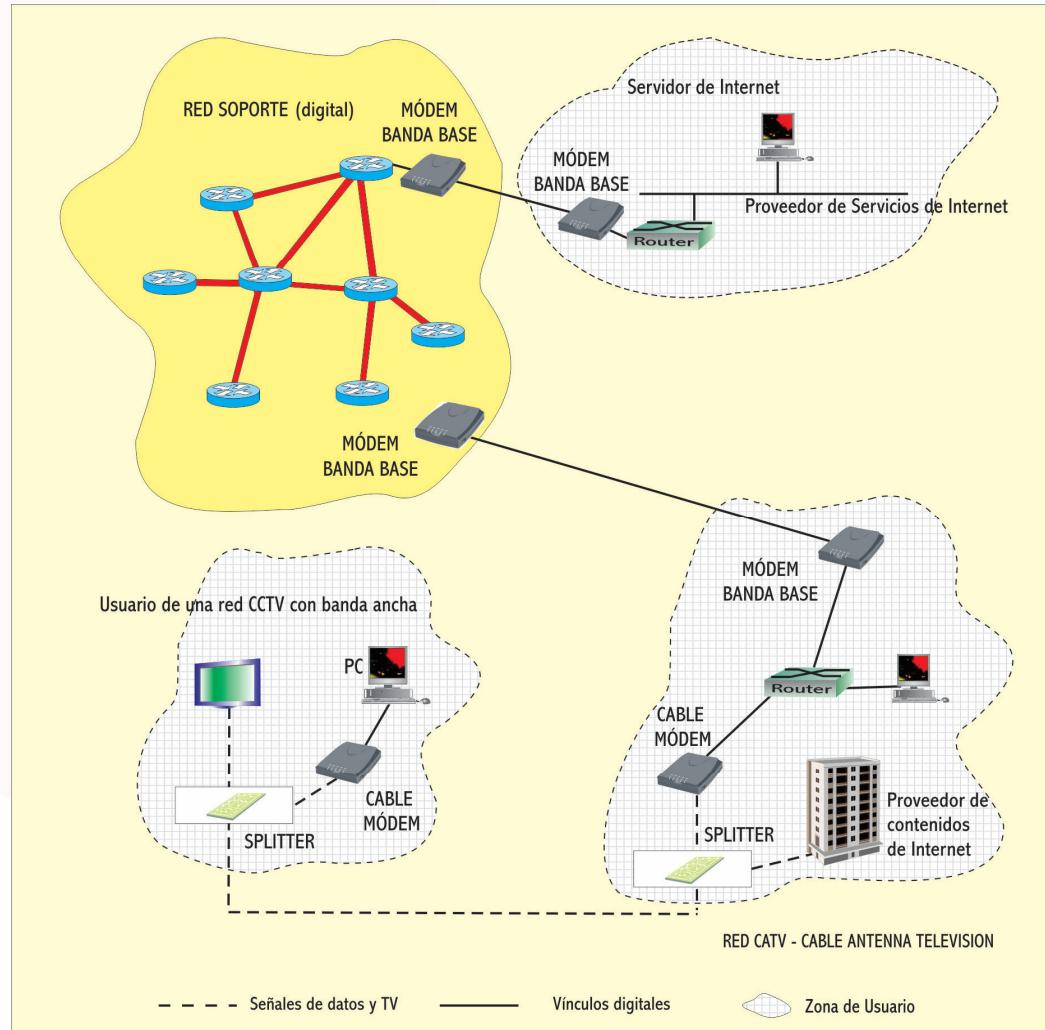
En la zona del usuario el par telefónico está conectado a un equipo que se conoce como *splitter* o divisor de canales.

Otro caso diferente es el que se observa en la figura a continuación. Se trata de la provisión del servicio de Internet a través de las redes de televisión por cable, más conocidas por su abreviatura CATV.



Técnicas de la transmisión de la información

3.2.5.2 Definición y concepto de enlace y circuito de datos

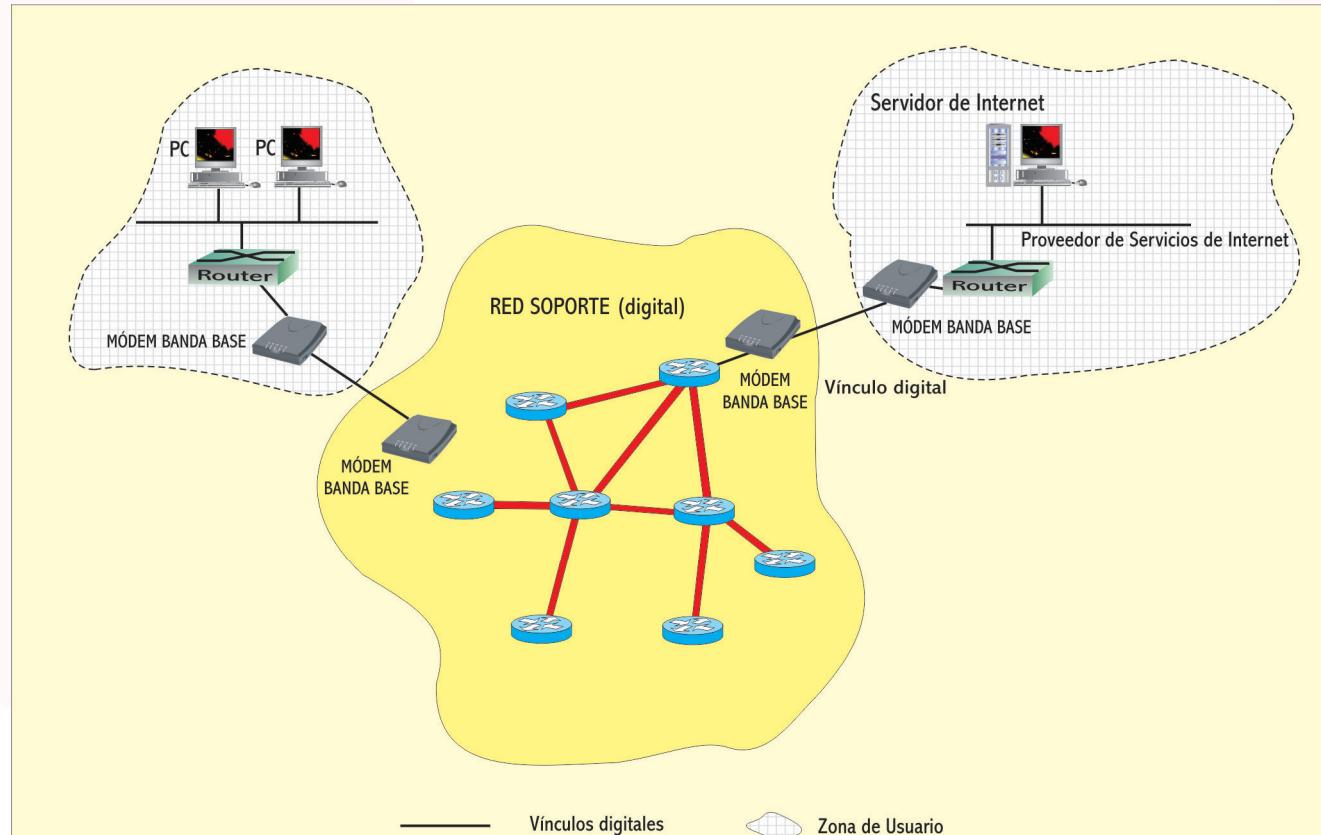




Técnicas de la transmisión de la información

3.2.5.2 Definición y concepto de enlace y circuito de datos

Establecimiento de un circuito de datos a través de un vínculo dedicado digital

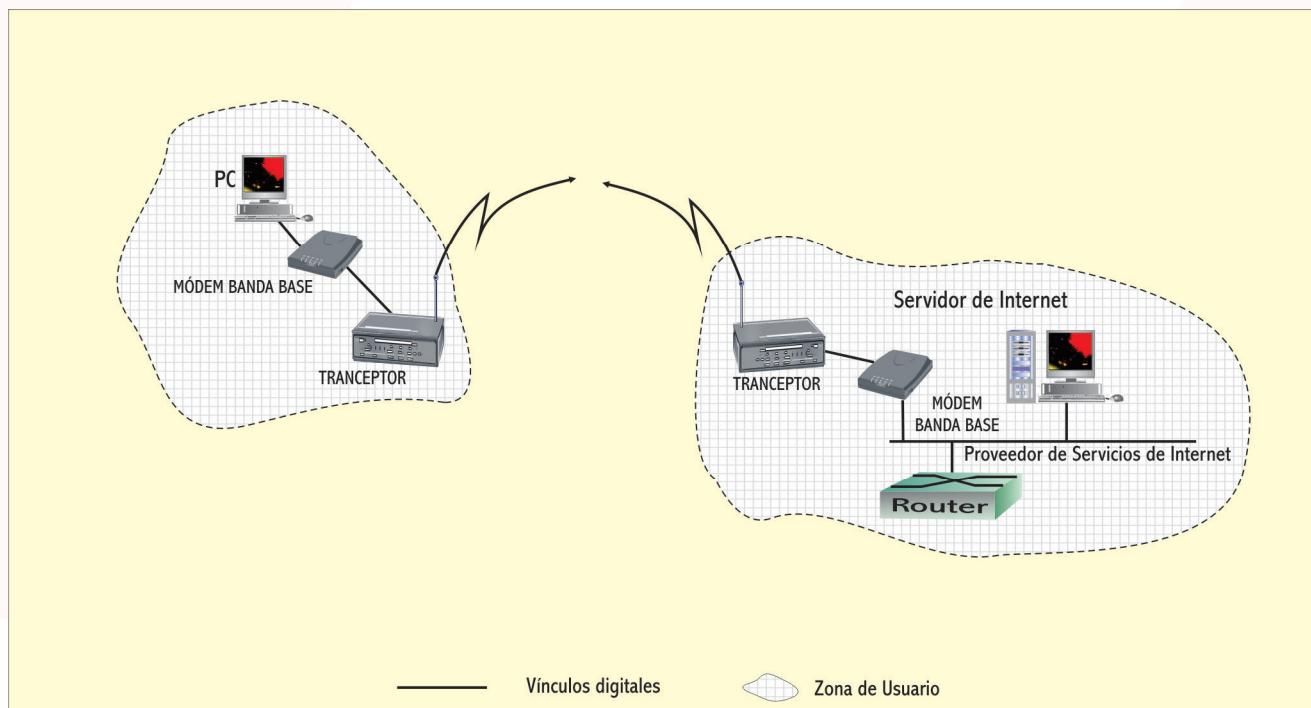




Técnicas de la transmisión de la información

3.2.5.2 Definición y concepto de enlace y circuito de datos

Establecimiento de un circuito de datos a través de un vínculo inalámbrico





Técnicas de la transmisión de la información

3.2.6 Definiciones utilizadas en Informática

3.2.6.1 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.

Definiremos un byte como el número de bits utilizados para representar un carácter en un sistema de codificación dado.



Técnicas de la transmisión de la información

3.2.6.2 Definición de palabra

En el campo de las computadoras, se utiliza el concepto de palabra.

Definiremos una palabra como el número de caracteres (bytes) fijos que una computadora trata como una unidad cuando los transfiere entre sus distintas unidades o los somete a diversos procesos, como lectura, escritura en memoria, operaciones aritméticas, etcétera.



Técnicas de la transmisión de la información

3.2.6.3 *Concepto de bloque*

Otro concepto que se suele utilizar muy a menudo es el de bloque, y lo definiremos como Conjunto formado por algunas decenas de bits que recibe un tratamiento único a los efectos de la transferencia de datos, que una computadora realiza entre su memoria y los equipos periféricos.

También se puede definir como el conjunto de bits que a los efectos de la protección y la corrección de errores, se considera una sola unidad. Este concepto también es de uso común en sistemas de comunicaciones.



Técnicas de la transmisión de la información

3.3 Medidas de la velocidad en la transmisión de información

3.3.1 Definiciones

3.3.1.1 *Velocidad de modulación*

El concepto de velocidad de modulación es un concepto típico entre los usados en telecomunicaciones y se define como la inversa de la medida del intervalo de tiempo nominal más corto entre dos instantes significativos sucesivos de la señal modulada.



Técnicas de la transmisión de la información

3.3.1.1 Velocidad de modulación

También se suele definir como la inversa del tiempo que dura el elemento más corto de señal, que se utiliza para crear un byte.

$$V_m = \frac{1}{T}$$

Donde

T = duración del ancho del pulso (más corto).

En unidades resultará:

$$[V_m] = \frac{1}{[seg]} = [\text{Baudio}]$$

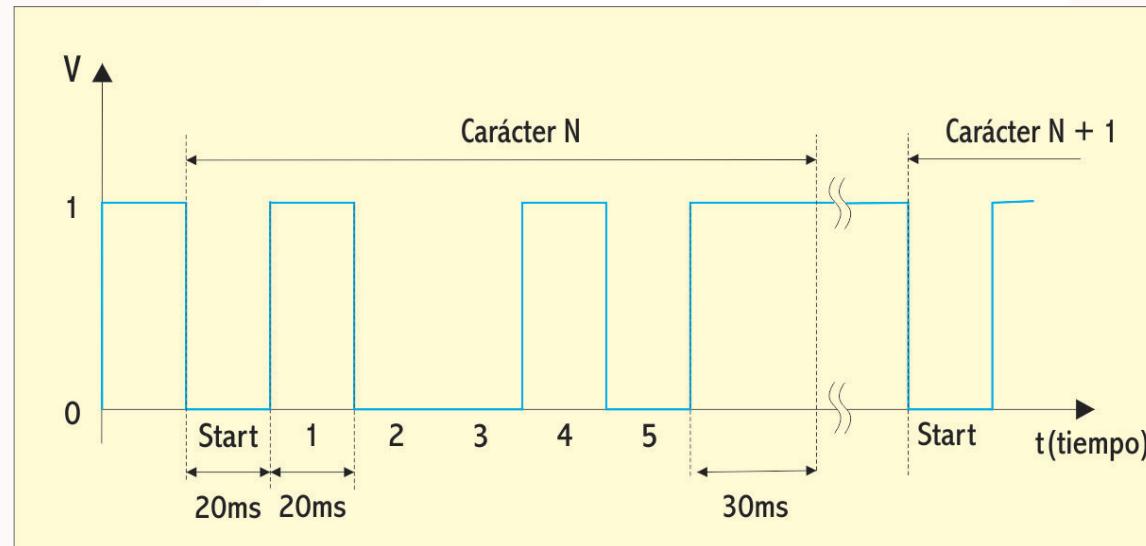
Esta velocidad se relaciona con la línea de transmisión.



Técnicas de la transmisión de la información

3.3.1.1 Velocidad de modulación

Se pueden observar las características de transmisión de un carácter a través del servicio Télex.





Técnicas de la transmisión de la información

3.3.1.2 Velocidad binaria o velocidad de transmisión, o de información

El concepto de velocidad binaria y el de velocidad de transmisión o información en general son motivo de cierta controversia. La Recomendación R.140 de la UIT-T define la velocidad binaria como la velocidad global de transmisión expresada en bits por segundo.

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 estos lleven información o no.

$$V_t = \frac{1}{T} \log n$$

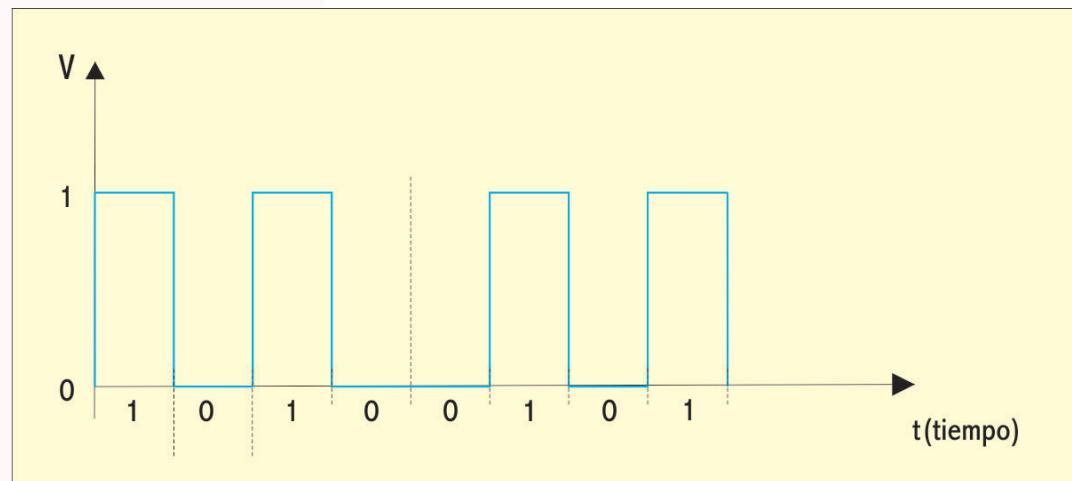
$$[V_t] = [bps]$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.3.1.2 Velocidad binaria o velocidad de transmisión, o de información

Muestra la forma de una señal binaria de período igual a 5 mseg.





Técnicas de la transmisión de la información

3.3.1.3 Velocidad de transmisión en señales multinivel

Cuando las señales son multinivel cada pulso transmitido puede contener más de un bit de información. Esto significa que puedo aumentar la velocidad de información sin incrementar la velocidad de modulación. En el ejemplo 3-3 se describió el caso de una señal de cuatro niveles. En la figura 3-11 para cada uno de esos niveles se muestra cuáles fueron los bits por pulso que se le pudieron haber asociado.

En teoría n puede tener cualquier valor, pero en la práctica debe responder a la fórmula siguiente:

$$n = 2^M$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.3.1.4 Velocidad de transferencia de datos

Se puede definir un concepto de velocidad que se relaciona con el enlace de datos, y se refiere a los bits que solo contienen información. Esta se denomina velocidad de transferencia de datos, y se define como el número medio de bits por unidad de tiempo que se transmiten entre equipos correspondientes a un sistema de transmisión de datos.

$$V_{td} = \frac{\text{número de bits transmitidos}}{\text{tiempo empleado}}$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.3.1.4 Velocidad de transferencia de datos

Por lo general, la V_{td} se mide en *bps* (bits por segundo).

En forma análoga, si en lugar de bits se consideran bytes, caracteres, palabras o bloques, u otra forma de medir la información, y en lugar de medir el tiempo en segundos se emplearan minutos u horas, se tendrían valores del tipo

$$V_{td} = \frac{\text{byte}}{\text{seg}} \text{ o } V_{td} = \frac{\text{bloque}}{\text{hora}}.$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.3.1.5 Definición de tasa de errores

Cuando se transfiere información en un canal de comunicaciones entre dos puntos dados de un circuito, siempre podrá haber errores de transmisión. Estos podrán ser muy pocos o muchos, pero nunca cero para un tiempo razonable de transmisión.

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



Técnicas de la transmisión de la información

3.3.1.5 Definición de tasa de errores

La tasa de errores se suele expresar mediante la sigla BER.

A medida que un circuito teleinformático tiene mayor confiabilidad, menor será el valor de la tasa de errores. Asimismo, 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 de la cantidad total de bits transmitidos.

$$BER = \frac{\text{Cantidad de bits con errores}}{\text{Cantidad de bits transmitidos}}$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.3.1.6 Velocidad real de transferencia de datos

Por lo general, interesa saber la cantidad de bits por unidad de tiempo que saliendo de la fuente llegan al colector, y además, este los acepta como válidos.

Este concepto define la denominada velocidad real de transmisión de datos, que se define por el 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 los acepte como válidos.

$$V_{rd} = \frac{\text{número de bits transmitidos y aceptados como válidos}}{\text{tiempo empleado}}$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.3.1.7 Eficiencia o rendimiento de un sistema de transmisión de datos

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 estas pueden estar condicionadas por la disponibilidad de los medios que gestionan.

Si se tuvieran esos datos, el tiempo a emplear se podría despejar de la ecuación, esto es:

$$\text{Tiempo a emplear [bps]} = \frac{\text{Longitud del archivo [bit]}}{V_{rd} [\text{bps}]}$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.3.1.7 Eficiencia o rendimiento de un sistema de transmisión de datos

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

$$V_t \gg V_d$$

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

$$V_t = \alpha V_d$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.3.1.7 Eficiencia o rendimiento de un sistema de transmisión de datos

De manera análoga, 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 solo se toman en cuenta los bits transmitidos aceptados como válidos, cuya cantidad sin duda será menor.

$$V_{\text{eff}} \gg V_{\text{real}}$$

Luego podremos transformar esta desigualdad en igualdad mediante un factor $\beta \geq 1$, donde $\beta = 1$, si la transmisión fuera libre de errores; entonces, para todos los casos tendremos que:

$$V_{\text{eff}} = \beta V_{\text{real}}$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.3.1.7 Eficiencia o rendimiento de un sistema de transmisión de datos

Ahora bien, si en la igualdad (3-11) reemplazamos V_{td} por el valor obtenido tendremos,

$$V_t = \alpha \beta V_{rd}$$

Y si ahora hacemos $\alpha \beta = \gamma$, tendremos, $V_t = \gamma V_{rd}$

Definiremos como eficiencia o rendimiento ε de un enlace de datos al cociente entre la velocidad real de transferencia de datos y la velocidad de transmisión,

$$\varepsilon = \frac{V_{rd}}{V_t}$$

De la expresión es fácil deducir que ε es la inversa de γ .

En efecto, $\frac{V_{rd}}{V_t} = \frac{1}{\gamma}$

Luego, resultará, $\varepsilon = \frac{1}{\gamma}$



Técnicas de la transmisión de la información

3.3.1.7 Eficiencia o rendimiento de un sistema de transmisión de datos

Luego será necesario conocer el valor de la segunda. Para ello se pueden hacer distintas pruebas a varias horas del día, o aquellas en las que uno desea conocer el comportamiento del vínculo sobre archivos de una longitud determinada y conocida, y el tiempo que se demora en su transmisión. Conocido este valor se podrá obtener la eficiencia del enlace utilizado.

$$V_{\text{efl}} = \frac{\text{Longitud de un archivo conocido}}{\text{Tiempo empleado en recibido}}$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.4 Características de un enlace de datos

3.4.1 Utilización del ancho de banda

Cuando se establece un canal de comunicaciones por un vínculo, este se define técnicamente según el tipo de señales que va a transportar. Estas pueden ser de características analógicas o digitales, y, por lo tanto, definirán al canal como analógico o digital. Cada uno de ellos tiene aspectos comunes y otros particulares, sobre todo por el hardware de comunicaciones que tiene asociado. Un ejemplo es el caso del uso de amplificadores en los canales analógicos, y otro el uso de los repetidores regenerativos en los canales digitales.



Técnicas de la transmisión de la información

3.4.1 Utilización del ancho de banda

Algunas de las razones por las que se intenta que el tiempo de transmisión sea mínimo son las siguientes:

- Lograr que el procesamiento de la información sea más eficiente. Para ello, es necesario que llegue la mayor cantidad de datos por unidad de tiempo.
- Cuando se opera en tiempo real, por ejemplo, en una conexión a Internet, el operador espera una respuesta en el menor tiempo posible, que no demore su actividad.
- La mayoría de las comunicaciones se cobra en función de su duración, por tanto, cuanto menor sea el tiempo de transmisión, menor será su costo.



Técnicas de la transmisión de la información

3.4.2 Relación entre ancho de banda y velocidad de modulación. Transmisión multinivel

Un aspecto que es necesario considerar es la relación entre la denominada velocidad de modulación y el ancho de banda utilizado.

Como se vio antes, cuanto mayor es la velocidad de modulación menor es el ancho del pulso T transmitido de cada uno de ellos. Este tiempo se relaciona de manera directa con la energía almacenada en el sistema eléctrico que posibilita la transmisión y la resistencia que esta opone al cambio de la polaridad que se produce en cada pulso transmitido.



Técnicas de la transmisión de la información

3.4.2 Relación entre ancho de banda y velocidad de modulación. Transmisión multinivel

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

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



Técnicas de la transmisión de la información

3.4.3 La medida del ancho de banda en canales digitales

En los canales analógicos el ancho de banda siempre se refiere en Hertz, esto es, en $1/\text{seg}$. En cambio, por razones prácticas y técnicas en los canales digitales el ancho de banda se expresa en bit/seg .

Si en principio hiciésemos consideraciones de tipo dimensionales veríamos las siguientes expresiones para un canal analógico y otro digital:

$$[\Delta f] = \frac{1}{[\text{seg}]} = \text{Hertz}$$

$$[\Delta f] = \frac{[\text{bit}]}{[\text{seg}]} = \text{bps}$$

Sin embargo, desde el punto de vista de los sistemas de medidas físicos, el bit es adimensional. Luego, si se comparan desde el punto de vista dimensional tendremos,

$$[\Delta f] = \frac{1}{[\text{seg}]} = \frac{[\text{bit}]}{[\text{seg}]}$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.4.3 La medida del ancho de banda en canales digitales

Supongamos que el canal está transmitiendo una trama compuesta por un conjunto de bits. Llaremos t_1 al instante de tiempo en que el primer bit sale del canal, y t_2 al momento en que lo abandona el último bit. Luego, el ancho de banda en ese canal resultará, siendo Q la cantidad de bits que contiene la trama transmitida, el cociente entre la cantidad Q de bits contenidos en la trama transmitida, dividido el intervalo de tiempo que resulta de la diferencia de tiempo entre el instante t_2 en que el último bit de la trama sale del canal, menos t_1 que es el medido en el momento en que el primer bit salió de ella.

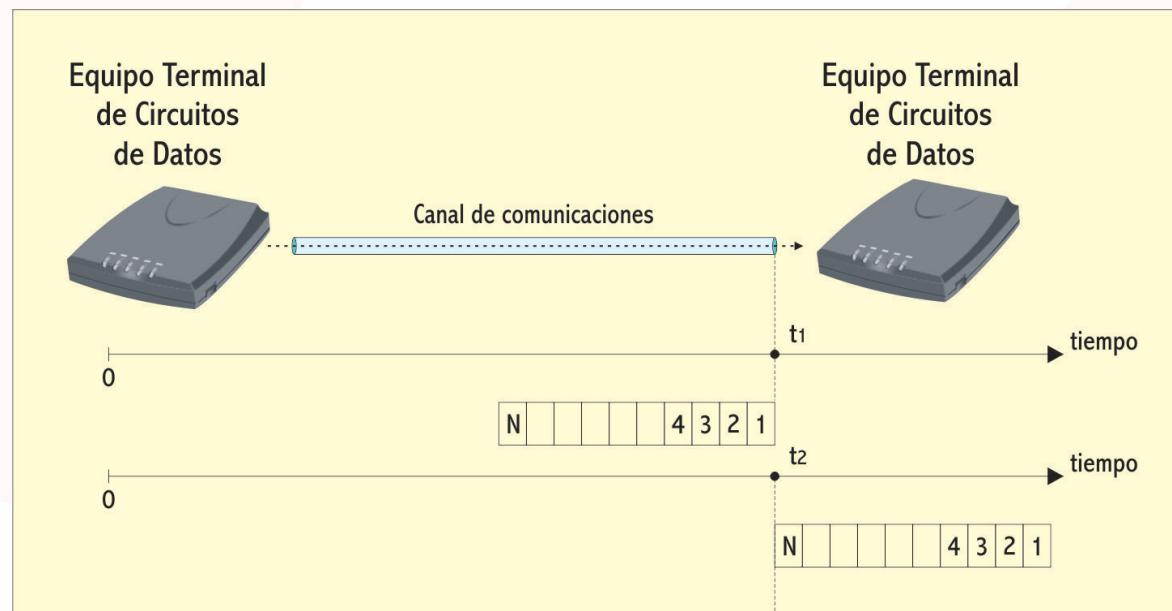
$$\Delta f = \frac{Q \text{ [bit]}}{t_2 - t_1 \text{ [seg]}} = bps$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.4.3 La medida del ancho de banda en canales digitales

Esta expresión en realidad mide el ancho de banda utilizado. El vínculo podría tener un ancho de banda aun mayor, pero los equipos terminales del circuito de datos podrían limitarlo a un valor convenido entre los extremos del canal.





Técnicas de la transmisión de la información

3.4.4 Conceptos de retardo, latencia y jitter. Su relación con el ancho de banda

Todo canal de comunicaciones en función del vínculo que se utiliza para definirlo tiene un retardo en la transmisión de la información. La razón de esto es que la información no se transmite a una velocidad infinita cualquiera sea el medio de comunicaciones elegido. En el mejor de los casos, si la información fuese transmitida a través de un medio dieléctrico como es el vacío, lo hará a una velocidad aproximada de 300.000 km/seg .

Por lo tanto, toda transmisión tendrá un retardo de transmisión que estará condicionado por el medio de comunicaciones utilizado.



Técnicas de la transmisión de la información

3.4.4 Conceptos de retardo, latencia y jitter. Su relación con el ancho de banda

Llamaremos retardo de transmisión R_t al tiempo que empleará la señal de comunicaciones para cubrir una distancia dada.

$$R_t = \frac{\text{distancia}}{\text{velocidad de propagación}}$$

El retardo será una función de la velocidad de propagación de la señal, y esta, del medio que se utilice.



Técnicas de la transmisión de la información

3.4.4 Conceptos de retardo, latencia y jitter. Su relación con el ancho de banda

Esto hace que las comunicaciones sean muy sensibles al retardo. Sin embargo, el tiempo total que puede demorar una transferencia de datos en la red no solo depende del retardo provocado por la demora en recorrer el camino físico determinado por el vínculo que se utiliza, sino por otros factores que hacen a aspectos lógicos y otros elementos físicos que componen los circuitos establecidos. Algunas causas, entre otras, de retardos adicionales pueden ser las siguientes:

- Procesamiento en los nodos de conmutación de paquetes.
- Resolución de colas de espera.
- Saturación de memorias intermedias o buffer.
- Congestión en distintas partes de la red.



Técnicas de la transmisión de la información

3.4.4 Conceptos de retardo, latencia y jitter. Su relación con el ancho de banda

Ahora buscaremos definir el concepto de latencia. Este busca combinar por un lado el ancho de banda del canal, y por el otro los retardos que se pueden producir en él por todas las causas señaladas antes.

Seguiremos llamando t_2 al instante del tiempo en que el último bit de la trama sale del canal, y denominaremos t_3 al instante en que el primer bit de ella entró en él.

Llamaremos latencia de un canal al intervalo de tiempo transcurrido entre el instante en que el primer bit de trama entró en el canal menos el instante de tiempo en que el último bit salió de él.

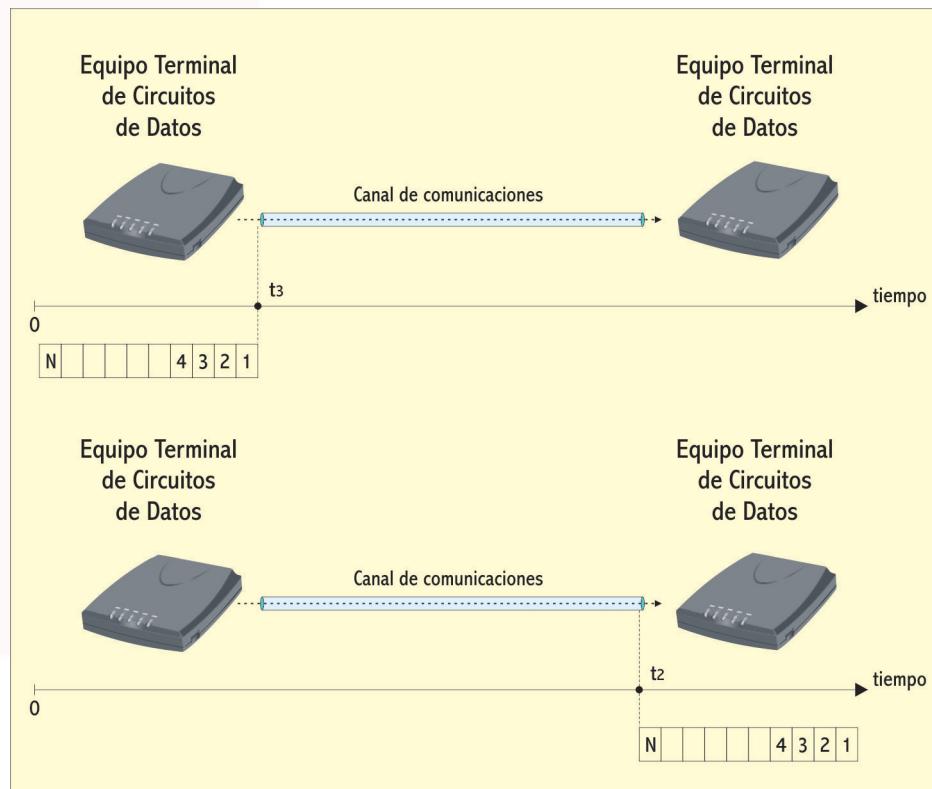
$$\Delta T = t_3 - t_2$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.4.4 Conceptos de retardo, latencia y jitter. Su relación con el ancho de banda

Retardo total en canales digitales.





Técnicas de la transmisión de la información

3.5 Canales de comunicaciones

3.5.1 Conceptos generales

En el apartado 3.1.3, habíamos definido el concepto de canal de comunicaciones como el de un camino que se establece entre dos puntos o más de la red entre equipos que actúan como transmisores o receptores, o ambos. También se había señalado que este concepto implicaba no solo lo que hace al enlace físico sino también a una conexión lógica.

Una red de comunicaciones está formada por un conjunto de canales de comunicaciones que deben permitir unir e interconectarse a todos los correspondientes que forman parte de ella. A tal efecto cada uno de estos debe poseer un equipo terminal que satisfaga sus necesidades de comunicación y un medio físico que los une. Ese medio es precisamente el que conforma el canal de comunicaciones.

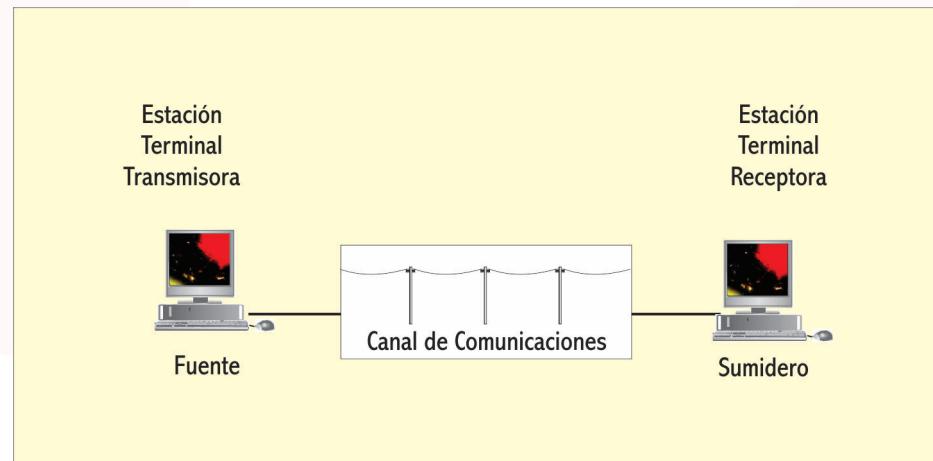


Técnicas de la transmisión de la información

3.5.2 Canal físico

Denominaremos canal físico a la parte del canal de comunicaciones que tiene que ver con las características físicas y eléctricas del medio de transmisión.

Este concepto está vinculado a las características físicas del medio y las técnicas de la ingeniería de comunicaciones. El canal físico se ocupa de los fenómenos relativos a la transmisión de señales.

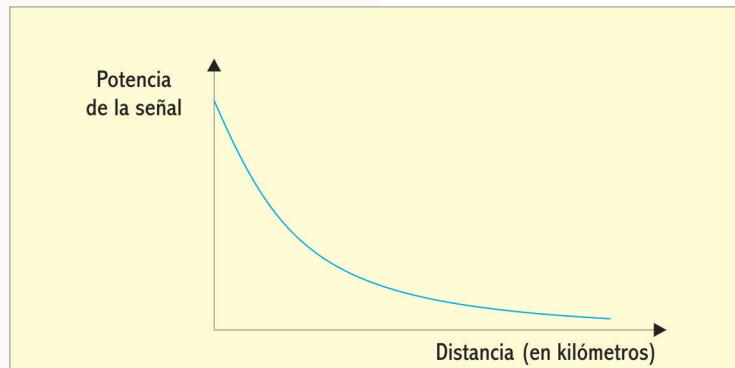




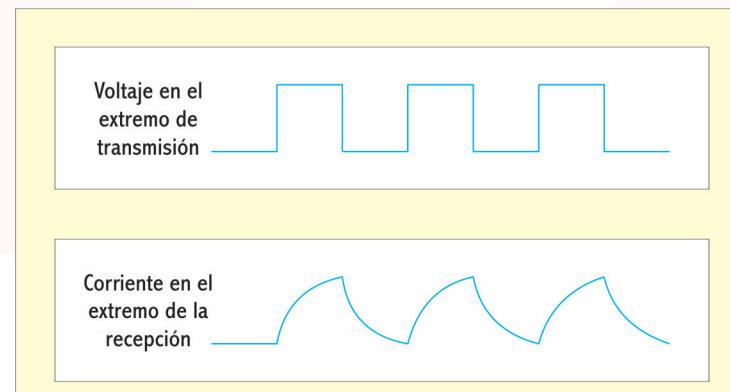
Técnicas de la transmisión de la información

3.5.2 Canal físico

Pérdida de potencia de una señal por atenuación.



Distorsión de la señal por efecto inductivo.

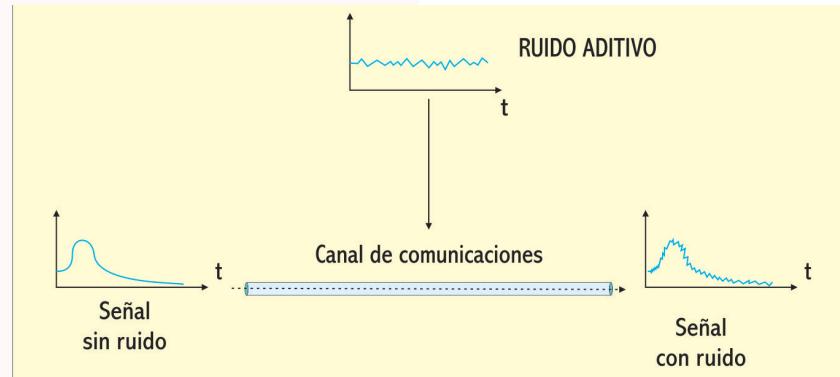




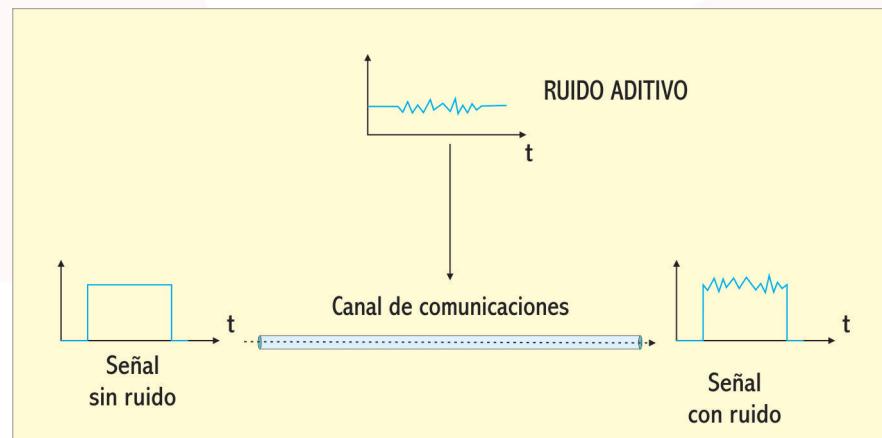
Técnicas de la transmisión de la información

3.5.2 Canal físico

Efecto aditivo del ruido sobre una señal analógica.



Efecto aditivo del ruido sobre una señal digital.





Técnicas de la transmisión de la información

3.5.3 Canal de información

Denominaremos canal de información a la parte del canal de comunicaciones que tiene que ver con las especificaciones técnicas y lógicas que hacen a la transmisión de la inteligencia.

Está vinculado a las técnicas relacionadas con la teoría de la información y la codificación. Se ocupa básicamente de evaluar y permitir administrar los recursos del canal físico de manera adecuada. Usa como criterio de eficiencia la velocidad de transmisión de la información y la calidad con que esta se transporta.



Técnicas de la transmisión de la información

3.5.4 Canal ideal y canal real

Un canal ideal, como su nombre lo expresa, es un concepto teórico que se utiliza como una abstracción para luego introducirse en la forma en que realmente trabaja un canal real de comunicaciones.

Entenderemos por canal ideal o continuo aquel canal de comunicaciones que al aplicársele en la entrada una señal continua, reproduce en su salida exactamente la misma señal.

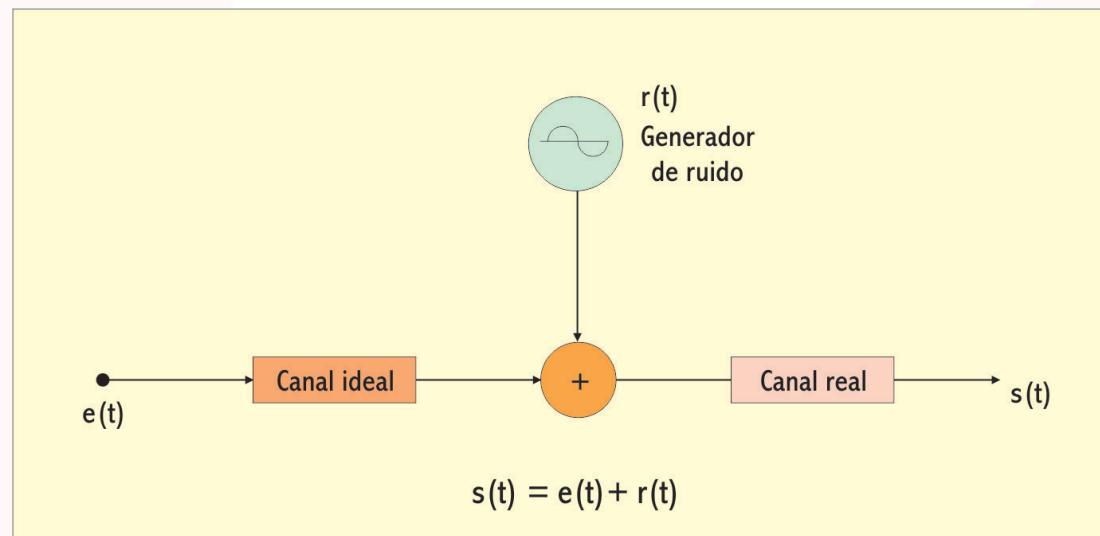
Los canales reales logran ese objetivo solo de manera aproximada, pues el ruido (que tiene características aditivas, respecto de la señal útil) modifica la forma de la onda de entrada en el canal.



Técnicas de la transmisión de la información

3.5.4 Canal ideal y canal real

Obsérvese que hemos tomado en cuenta estas consideraciones solo para determinar el efecto que produce el ruido sobre la forma de la señal.





Técnicas de la transmisión de la información

3.5.5 Canales analógicos y canales digitales

Según el tipo de señales que transporten, los canales se pueden clasificar en analógicos o digitales.

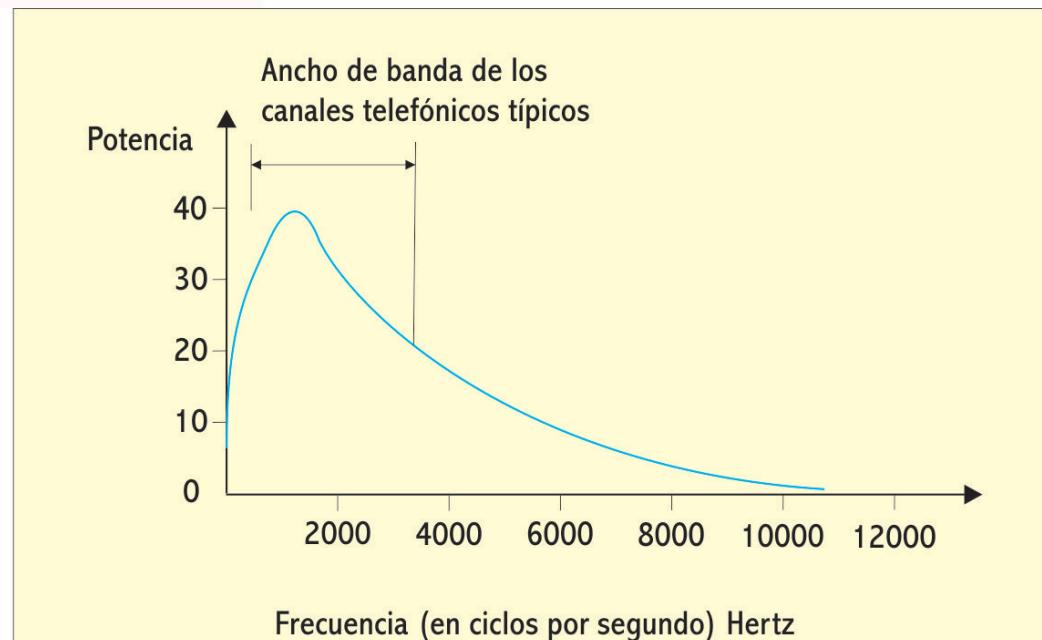
En el presente los canales analógicos solo existen como tales en la red telefónica conmutada para transportar las señales de voz en el tramo que une las centrales de conmutación, o nodos de esa red, con los teléfonos ubicados en los domicilios de los usuarios individuales de ella. También se utiliza este tipo de canales en las redes de distribución de señales de televisión denominadas CATV, y cuando se utilizan pares telefónicos para la provisión del servicio de banda ancha.



Técnicas de la transmisión de la información

3.5.5 Canales analógicos y canales digitales

Potencia de una señal de frecuencia vocal en función de la frecuencia.





Técnicas de la transmisión de la información

3.5.6 Concepto de relación señal a ruido. Factor de ruido

Se denomina relación señal a ruido y se expresa en decibeles la relación entre la potencia de la señal y la potencia de ruido.

$$\text{Relación señal / ruido} = 10 \log_2 \frac{S}{N}$$

donde:

S = potencia media de la señal útil.

N = potencia media de ruido.

Los canales de comunicaciones y los dispositivos electrónicos conocidos, como los amplificadores, se caracterizan por un parámetro denominado factor de ruido. Este se define por la siguiente expresión:

$$F = \frac{\text{relación señal / ruido de entrada}}{\text{relación señal / ruido de salida}}$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.5.6 Concepto de relación señal a ruido. Factor de ruido

De acuerdo con la expresión el factor de ruido, resultará:

$$F = \frac{S_1 / N_1}{S_2 / N_2}$$

No obstante, como la potencia de la señal a la salida será igual a su potencia a la entrada por la ganancia del amplificador,

$$S_2 = S_1 \cdot G$$

Reemplazando en tendremos, $F = \frac{S_1 / N_1}{S_1 G / N_2}$

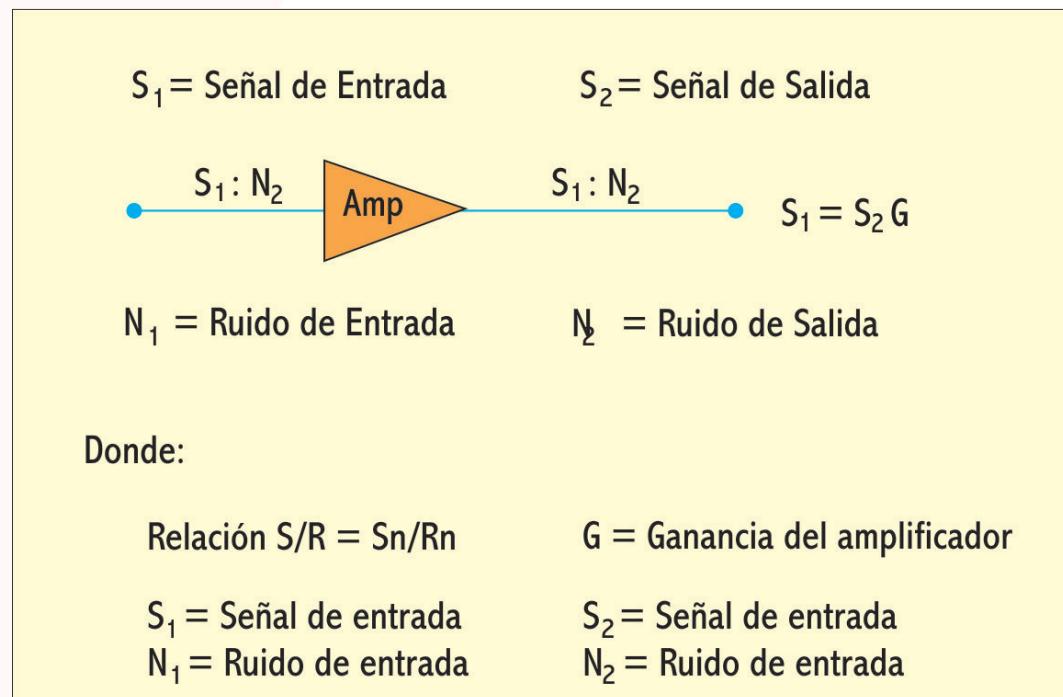
Asimismo, si se simplifica el factor de ruido resultará:

$$F = \frac{N_2}{G / N_1}$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.5.6 Concepto de relación señal a ruido. Factor de ruido





Técnicas de la transmisión de la información

3.5.7 Acondicionamiento de los canales de comunicaciones

3.5.7.1 *Aspectos generales*

Los canales de comunicaciones presentan fenómenos físicos que alteran sus características y requieren que se los corrija a los efectos de lograr colocarlos en las mejores condiciones para el servicio que deben prestar.

En particular, la generación de señales de retorno denominadas **eco** y otros fenómenos, como la atenuación y la distorsión, que producen un comportamiento no lineal de la curva de respuesta en frecuencia, obligan a introducir equipos especiales en el canal de comunicaciones.



Técnicas de la transmisión de la información

3.5.7.2 Eco

Se denomina eco una señal no deseada que se origina por medio de una onda reflejada en el colector, producida por la propia señal generada en el equipo terminal, que funciona como fuente de la información, o bien, ciertos obstáculos que encuentra la señal útil, como consecuencia de desacoplamientos en las impedancias del circuito establecido.

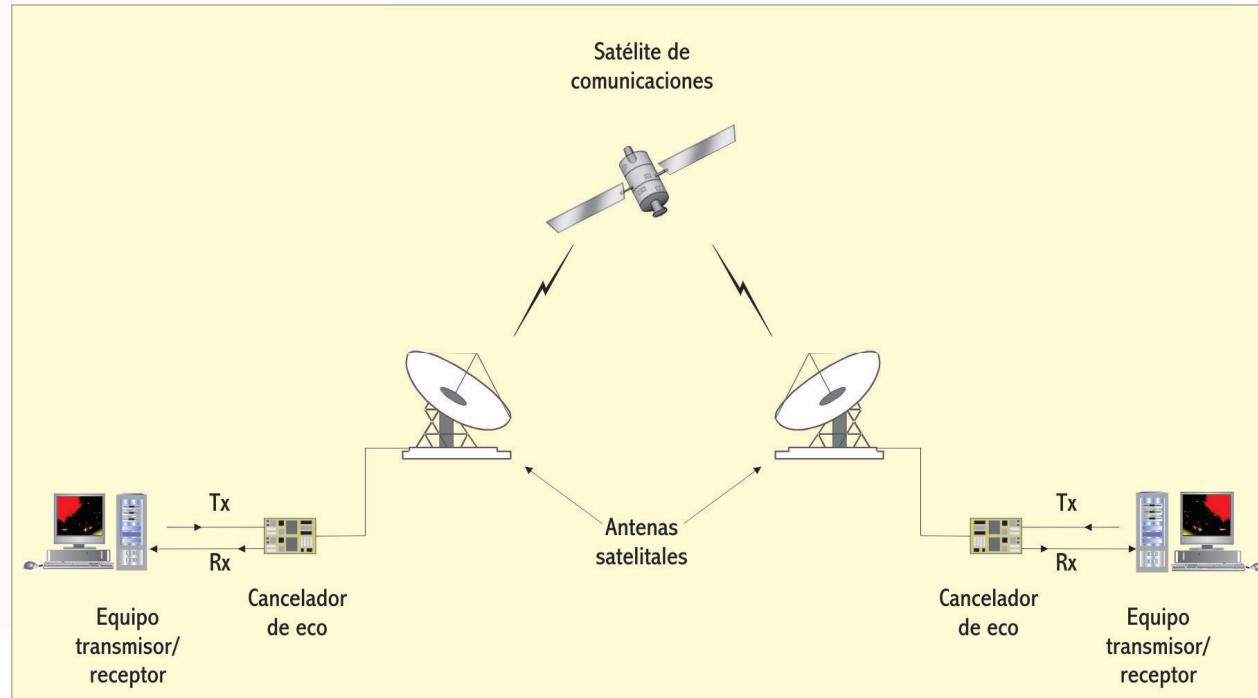
Como su nombre lo indica, el eco es el reflejo de la energía de las propias señales generadas en la fuente; para el caso de una conversación telefónica, se trata de la voz del usuario que usa el canal en ese momento.



Técnicas de la transmisión de la información

3.5.7.2 Eco

Tiene el mismo sentido que vulgarmente se usa para el caso de las señales acústicas, que reverberan en lugares cerrados.





Técnicas de la transmisión de la información

3.5.7.3 *Ecualización*

Se denomina ecualización al proceso que consiste en compensar en un canal de comunicaciones los efectos que produce la distorsión, tanto sea de atenuación o de retardo de grupo, a los efectos de acondicionarlo para optimizar su rendimiento.

Los equipos que realizan estas funciones se denominan ecualizadores. Estos pueden formar parte de otros equipos, como los módem de datos, o ser equipos independientes, que se colocan en forma expresa sobre un canal para mejorarlo.

En particular los ecualizadores pueden ser de dos tipos: de atenuación y de fase; aunque a menudo, un mismo equipo realiza las dos funciones.



Técnicas de la transmisión de la información

3.6 Capacidad de un canal

3.6.1 Elementos de teoría de la información. Medida de la información

Las redes de comunicaciones tienen por objeto intercambiar información. Por lo tanto, es importante dar un concepto previo de qué se puede entender por información. Al respecto hay muchas formas de dar una idea sobre este concepto.

Entenderemos por mensaje un conjunto de datos que proviene de una fuente de información.



Técnicas de la transmisión de la información

3.6.1 Elementos de teoría de la información. Medida de la información

La teoría de la información estudia cuatro aspectos:

- Cómo se mide la información.
- Cuál es la capacidad de un canal de comunicaciones para transferir información.
- Otros aspectos relacionados con la codificación de la información.
- La manera de utilizar los canales a plena capacidad con una tasa de error mínima.

Un hecho que se sabe con seguridad que va a ocurrir no contiene información alguna. Por lo tanto, un suceso contendrá mayor cantidad de información cuanto menor sea la probabilidad de que se produzca. Sin embargo, hay otra forma mucho más precisa para conceptualizar la información.



Técnicas de la transmisión de la información

3.6.1 Elementos de teoría de la información. Medida de la información

Definiremos como información a un conjunto de datos que permiten aclarar algo sobre aquello que se desconoce.

Sobre la base de las consideraciones efectuadas, podemos dar una definición de medida de la cantidad de información que contiene el suceso descripto en un mensaje, de la siguiente manera: sea un suceso S que se pueda presentar con una probabilidad de ocurrencia $P(S)$, indicaremos que la cantidad de información de que contiene ese suceso será igual a la inversa del logaritmo de la probabilidad de que ese suceso se produzca.

$$I(S) = \log_2 \frac{1}{P(S)} \text{ [Shannon]}$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.6.1 Elementos de teoría de la información. Medida de la información

La elección de la base del logaritmo que interviene en la definición de la cantidad de información, implica determinar la unidad con la que se medirá ese parámetro.

Por ejemplo, si tomamos logaritmo en base 2, la unidad correspondiente, como hemos definido, es el Shannon. Si se tomara el logaritmo decimal, la unidad se llamará Hartley y si fuese el logaritmo natural –base e –, su nombre sería Nat. En efecto,

$$I(S) = \log_{10} \frac{1}{P(S)} \text{ [Hartley]}$$

$$I(S) = \log_e \frac{1}{P(S)} \text{ [Nat]}$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.6.2 Entropía

3.6.2.1 Fuente de memoria nula

Se definirá como fuente de memoria nula la que emite símbolos que son estadísticamente independientes uno de otro.

Supongamos que una fuente de memoria nula puede emitir distintos símbolos, cada uno de ellos con cierta probabilidad asociada.

La descripción de este fenómeno conduce al concepto matemático de variable aleatoria: una función $I(x_k)$ en la cual para cada valor de la variable x tendremos asociado un valor de probabilidades p_k . Esto significa que podemos establecer las relaciones que muestra la tabla.



Técnicas de la transmisión de la información

3.6.2.2 Definición de entropía

Sea una variable aleatoria definida como se muestra en la tabla

Variable Aleatoria	$I_{(x)}$	X_1	X_2	X_k	X_{k+1}
Probabilidad	$P_{(k)}$	$P_{(X_1)}$	$P_{(X_2)}$	$P_{(X_k)}$	$P_{(X_{k+1})}$

La **esperanza matemática** de la variable aleatoria será

$$E(X_k) = \sum_{k=1}^n I(X_k)p(X_k)$$

La cantidad de información en Shannon de la variable aleatoria será la de la expresión

$$I(X_k) = \log_2 \frac{1}{p(X_k)}$$

Operando,

$$I(X_k) = -\log_2 P(X_k)$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.6.2.2 Definición de entropía

Reemplazando con el valor obtenido tendremos,

$$E(x_k) = - \sum_{k=1}^n \log_2 P(x_k) p(x)_k]$$

Luego, definiremos como entropía de una fuente de memoria nula H al valor que resulta de la expresión

$$H = - \sum_{k=1}^n \log_2 P(x_k) p(x)_k]$$

La entropía de una fuente de memoria nula se mide en $H = \text{Shannon/símbolo}$, y representa la incertidumbre media en la posibilidad de que se produzca cada símbolo.



Técnicas de la transmisión de la información

3.6.2.3 Propiedades de la entropía

Tiene el significado de que pequeños cambios en la probabilidad de un suceso, implican pequeñas alteraciones en la cantidad de información.

- Simetría.

El orden en que se presentan los distintos sucesos no altera la entropía del sistema.

- Aditividad.

Las entropías de distintas partes de un mismo sistema se pueden sumar.

- Maximilidad.

Se puede demostrar que la entropía es una función maximizable.

Como corolario de esta propiedad se puede demostrar que si los símbolos que genera una fuente de memoria nula son equiprobables, entonces la entropía es máxima.



Técnicas de la transmisión de la información

3.6.2.3 Propiedades de la entropía

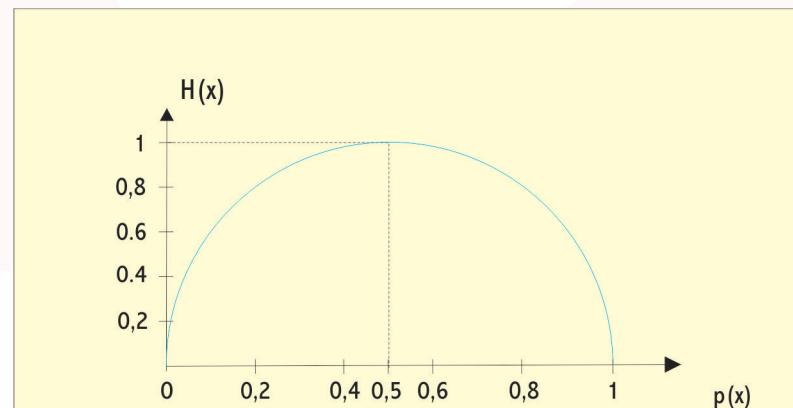
En efecto, sea

$$p(X_1) = p(X_2) = p(X_3) = p(X_4) = \dots = p(X_N) = \frac{1}{N}$$

Entonces, la fuente de memoria nula que puede emitir N símbolos con igual probabilidad tendrá una entropía de valor máximo cuya expresión será

$$H = \log_2 N \text{ Shannon / símbolo}$$

Permite observar la función entropía de una fuente binaria [1 o 0] de memoria nula para el caso de que el símbolo 1 se presente con probabilidad igual a $p(x)$ y el símbolo 0, con $p(1 - x)$.





Técnicas de la transmisión de la información

3.6.3 Capacidad de un canal

La capacidad de un canal se relaciona con la velocidad de transmisión máxima en bps que puede admitir un canal, por lo tanto, la definiremos como la máxima velocidad de transmisión de datos que se pueden cursar por él casi libres de errores.

$$C = V_{\max} \text{ [bps]}$$

C = capacidad de un canal.

V_{\max} = velocidad de transmisión de datos máxima.

Para considerar un canal libre de errores por completo deberíamos regresar al concepto de canal ideal. Los canales reales siempre tendrán errores. Ellos podrán ser de distinto valor, mayores o menores, según las condiciones en que esté acondicionado cada uno y en función del medio de comunicaciones utilizado.

Sin embargo, para esta definición tomaremos los canales conocidos por sus siglas en inglés, como AWGN. Esto es, canales con ruido blanco gaussiano aditivo.



Técnicas de la transmisión de la información

3.6.4 Tasa de información o velocidad de información

3.6.4.1 Definición y conceptos básicos

El concepto de entropía por sí solo no basta para relacionarlo directamente con la capacidad de un canal de comunicaciones, dado que varias fuentes pueden tener la misma entropía pero una de ellas ser más rápida que las demás y que, al entregar más símbolos por unidad de tiempo, introduzca en el canal de comunicaciones mayor cantidad de información.

Por lo tanto, desde el punto de vista del canal de comunicaciones, la descripción de la fuente dependerá no solo de la entropía, sino más bien de la denominada tasa de información.



Técnicas de la transmisión de la información

3.6.4.1 Definición y conceptos básicos

Entonces, definiremos como **tasa de información**, y la indicaremos con Γ , al cociente entre la entropía de la fuente y la duración media de los símbolos que esta envía, esto es,

$$\Gamma = \frac{H(x)}{\tau}$$

Donde:

τ = duración media de los símbolos.

En unidades, resultará,

$$[\Gamma] = \frac{\text{[Shannon · símbolo]}}{\frac{\text{[segundo]}}{\text{símbolo}}}$$

Simplificando,

$$[\Gamma] = \frac{\text{[Shannon]}}{\text{[segundo]}}$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.6.4.2 Relación entre la capacidad de un canal y la velocidad de transmisión

Como vimos, la tasa de información representa la cantidad de información producida por una fuente en un tiempo determinado.

Por otro lado, como se demostrará en el teorema de Shannon-Hartley, la capacidad de un canal **C** medida en bps nos indica la cantidad de información que el canal puede transportar por unidad de tiempo en un canal real.



Técnicas de la transmisión de la información

3.6.5 Uso de la medida de la información

Se sabe que con *1 bit* es posible identificar en forma unívoca dos situaciones posibles. Para ello se le podrá asignar a la primera un *1*, y a la otra un *0*, o al revés. Luego es importante determinar cuántos bits se necesitan para efectuar una elección entre todas las que sean posibles. En la tabla se muestran los casos posibles utilizando *1, 2, 3, ... bits*, y así.

$$n = 2^M$$

donde:

n = número de posibilidades a elegir.

M = número de bits necesarios para discriminar entre *n* posibilidades.

Distancia de Hamming	Distancia de Hamming
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128
8	256



Técnicas de la transmisión de la información

3.7 Concepto de velocidad máxima de transmisión

3.7.1 Teorema de Nyquist

Para el caso de un canal ideal (sin ruido), el Teorema de Nyquist expresa y permite demostrar que no se puede sobrepasar una velocidad de pulsos máxima , y que esta resultará función de la frecuencia máxima de transmisión.

Sea una señal limitada en su ancho de banda y con una frecuencia máxima $f_{máx}$, entonces,

$$f_N > 2f_{máx}$$

Donde:

f_N = *frecuencia de Nyquist o de muestreo.*

Si la señal a participar del muestreo está definida en un ancho de banda Δf , entonces la frecuencia de muestreo será igual a

$$f_N = 2\Delta f$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.7.1 Teorema de Nyquist

A partir de este teorema se determina que la capacidad de un canal sin ruido de ancho de banda finito Δf resulta cuando se envían señales binarias igual a

$$C = V_{\text{máx}} = 2 \Delta f \text{ [bps]}$$

Donde:

C = capacidad del canal.

$V_{\text{máx}}$ = velocidad máxima de transmisión de datos con señales binarias.

Δf = ancho de banda de la señal.

Luego, para señales multnivel, la capacidad de un canal ideal será igual a

$$C = V_{\text{máx}}^M = 2 \Delta f \log_2 n \text{ [bps]}$$

Donde:

$V_{\text{máx}}^M$ = capacidad de un canal con señales multnivel.



Técnicas de la transmisión de la información

3.7.2 Teorema de Shannon-Hartley

La expresión nos muestra que si un canal fuese ideal, se podría aumentar de manera indefinida la capacidad con solo incrementar el número de niveles de la señal.

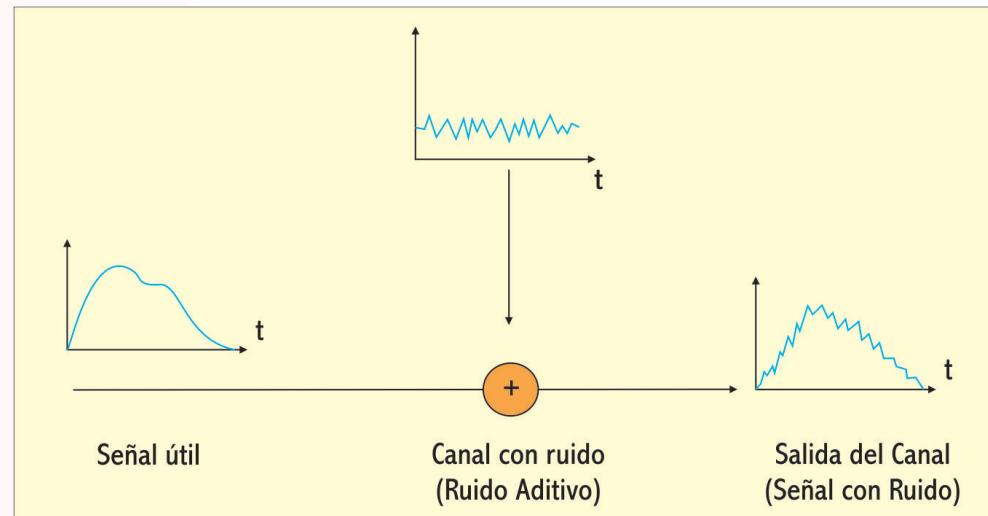
Analicemos ahora el caso de canales continuos con ruido, y supongamos la presencia de ruido para el caso de un canal con ruido blanco gaussiano aditivo. La presencia de este, precisamente, es característico de un canal real de transmisión.



Técnicas de la transmisión de la información

3.7.2 Teorema de Shannon-Hartley

Características de aditividad del ruido.

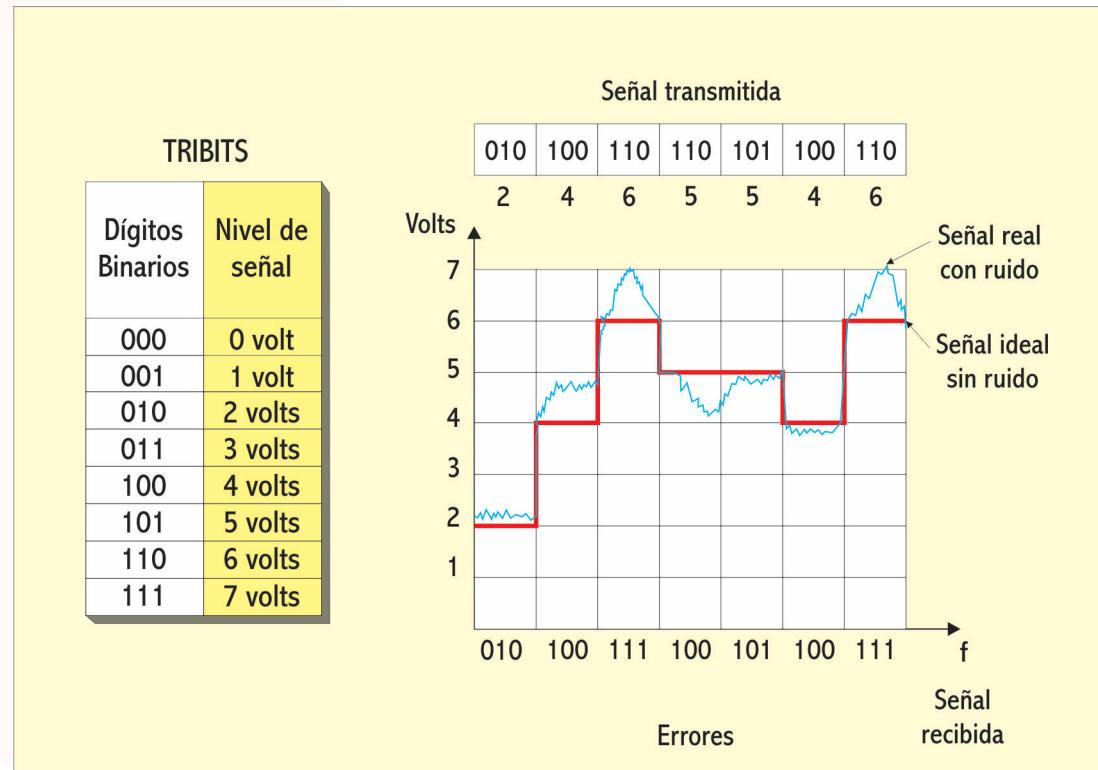




Técnicas de la transmisión de la información

3.7.2 Teorema de Shannon-Hartley

Limitación del número de niveles de una señal en función del ruido.





Técnicas de la transmisión de la información

3.7.2 Teorema de Shannon-Hartley

En efecto:

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Potencia de la señal}}{\text{Potencia del ruido}}$$

Para establecer la capacidad de un canal con ruido, el problema consistirá en determinar cuál es el valor máximo que podrá tomar n , esto es, el número de estados de la señal.

En efecto,

$$C = V_{\text{tmáx}}^M \log_2 n_{\text{máx}} \text{ [bps]}$$

Shannon demostró que el número máximo de niveles tiene que ver con la relación señal/ruido. Si aceptamos sin demostración \square que esa relación está dada por la expresión (3-63) obtenida por este investigador, entonces:

$$n_{\text{máx}} = \left(1 + \frac{S}{N}\right)^{1/2}$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.7.2 Teorema de Shannon-Hartley

Entonces, si reemplazamos en la expresión $nmáx$ por su valor tendremos:

$$C = 2 \Delta f \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)^{1/2} [\text{bps}]$$

y simplificando en la expresión ; tendremos:

$$C = \Delta f \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)^{1/2} [\text{bps}]$$

donde:

S = potencia media de la señal continua transmitida por el canal.

N = potencia media ruido blanco gaussiano aditivo.

Δf = ancho de banda del canal de comunicaciones.

Esta es la expresión de la ley de Shannon-Hartley, que determina la capacidad de un canal continuo que tiene un ancho de banda Δf y ruido blanco gaussiano aditivo limitado en banda.



Técnicas de la transmisión de la información

3.7.3 Consideraciones particulares sobre el teorema de Shannon-Hartley

El teorema de Shannon-Hartley es de importancia fundamental para el análisis de los sistemas de comunicaciones.

Tiene dos aspectos relevantes:

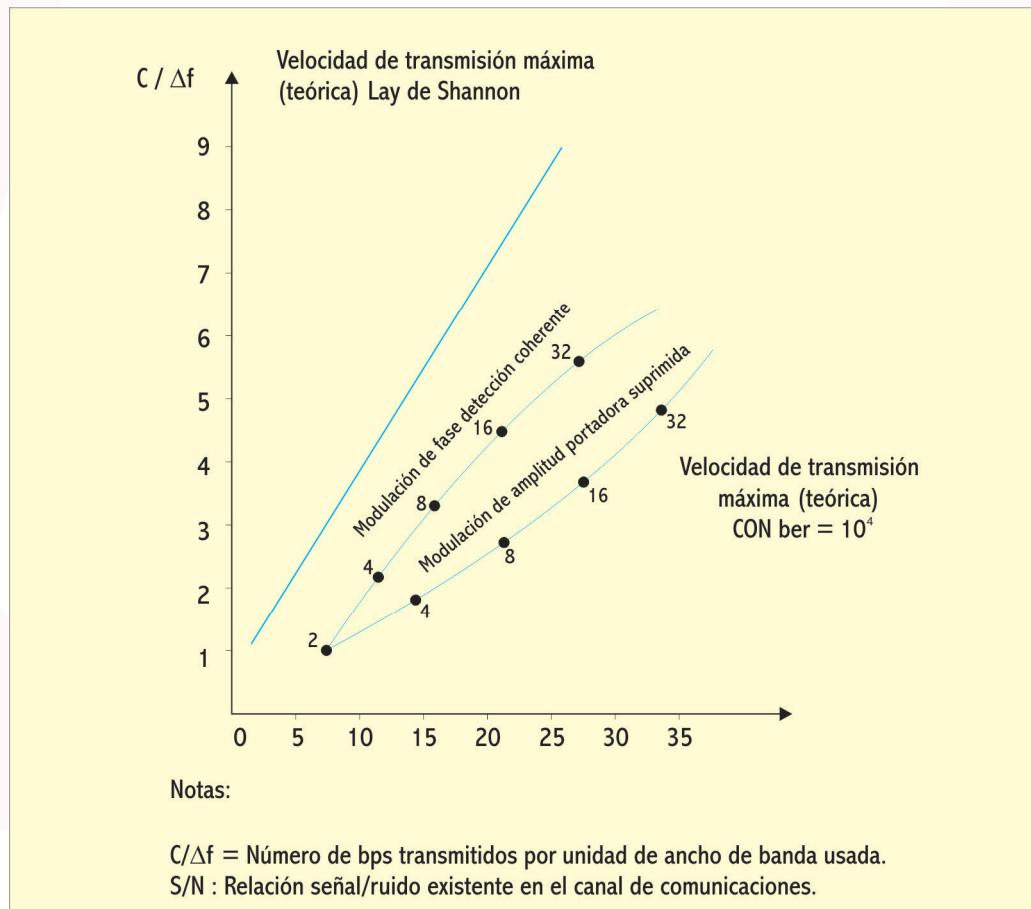
- Permite calcular la velocidad máxima de transmisión de datos en un canal con ruido (con distribución estadística de tipo gaussiano).
- Relaciona dos parámetros fundamentales en todo canal de comunicaciones, que son el ancho de banda Δf y la relación señal/ruido S/N .



Técnicas de la transmisión de la información

3.7.3 Consideraciones particulares sobre el teorema de Shannon-Hartley

Teorema de Shannon-Hartley. Ábaco para el cálculo.





Técnicas de la transmisión de la información

3.8 Ruido

3.8.1 Aspectos generales

El ruido y la distorsión son fenómenos adversos para la propagación de señales en los sistemas de comunicaciones, cuyo rendimiento reducen. Son dos los parámetros básicos que miden el comportamiento de los sistemas de comunicaciones frente al ruido y la distorsión:

- La relación señal a ruido en los sistemas analógicos.
- La tasa de error en los sistemas digitales.

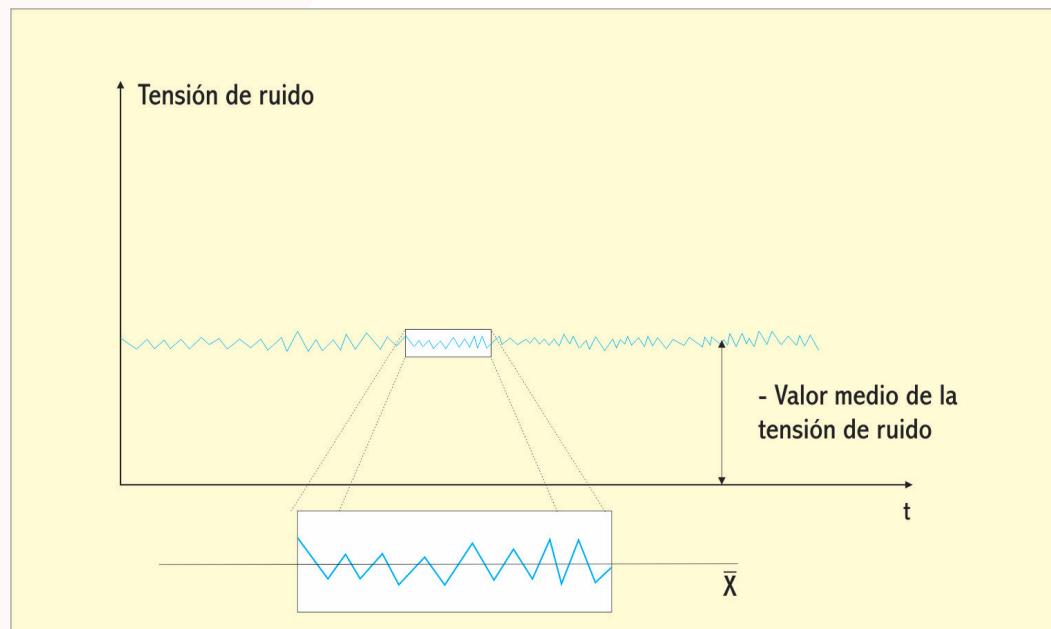
Definiremos ruido como todo fenómeno que, adicionado a la señal que se transporta desde la fuente, afecta la calidad de la información recibida en el colector.



Técnicas de la transmisión de la información

3.8.1 Aspectos generales

Forma de onda de ruido típica.





Técnicas de la transmisión de la información

3.8.2 Clasificación del ruido con respecto al sistema de comunicaciones

El ruido se puede clasificar en endógeno –si proviene de elementos propios del sistema de comunicaciones– o exógeno –si es ajeno al sistema.

Se denomina ruido endógeno al producido por variables propias del sistema de comunicaciones, que no pueden ser controladas por este.

Se llama ruido exógeno al producido por elementos externos al sistema de comunicaciones, pero que se produce por acoplamientos a él. En algunas situaciones este tipo de ruido puede atenuarse e incluso evitarse por completo.



Técnicas de la transmisión de la información

3.8.3 Distintos tipos de ruido

3.8.3.1 Introducción

El ruido se puede estudiar y clasificar en función de los agentes que lo producen y los efectos nocivos que causa en el sistema de comunicaciones; incluso dentro de este concepto se pueden incluir efectos no deseados de otros procesos, como es el caso del error de cuantificación.



Técnicas de la transmisión de la información

3.8.3.2 Ruido blanco, gaussiano o de Johnson

El movimiento de las partículas cargadas en los conductores hacen que estos cuerpos irradién energía en forma de ondas electromagnéticas. Se verificó que la potencia radiada es proporcional a la temperatura absoluta a la que se encuentran las partículas.



Técnicas de la transmisión de la información

3.8.3.2 Ruido blanco, gaussiano o de Johnson

Cada partícula en movimiento tendrá una energía cinética que será proporcional a la temperatura absoluta, y a una constante denominada constante de Boltzmann. En el caso particular del ruido generado por la resistencia de un conductor la potencia de ruido térmico además será proporcional al ancho de banda del canal; luego, energía de ruido térmico resultará,

Donde:

ER = potencia del ruido en Watt.

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Joule/Kelvin .

T = grados Kelvin.

Δf = ancho de banda [Hz].

$$E_R = \Delta f \ k \ T$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.8.3.2 Ruido blanco, gaussiano o de Johnson

Obsérvese que el valor de la resistencia del circuito no desempeña papel alguno en la generación de la potencia de ruido. La energía del ruido térmico en función del ancho de banda de la ecuación resultará igual a

$$\frac{E_R}{\Delta f} = kT$$

En términos dimensionales resultará, $\frac{[E_R]}{[Hz]} = [Joule][seg] = [Watt]$

Luego, en la ecuación, reemplazando, tendremos, $P_R = \frac{E_R}{H_Z}$

Definiremos como potencia del ruido térmico al valor, $P_R = \frac{E_R}{seg}$

Y recordando, resultará, $P_R = kT$



Técnicas de la transmisión de la información

3.8.3.2 Ruido blanco, gaussiano o de Johnson

En comunicaciones se acostumbra a expresar la potencia en dBm , para ello, recordando la expresión que define el dBm , tendremos,

$$dBm = 10 \log \frac{P_s[mW]}{1mW} \quad P_R[dBm] = 10 \log k + 10 \log T$$

Calculemos ahora la potencia de ruido en dBm por Hz de ancho de banda para una temperatura de $20^\circ C$,

$$P_R[dBm] = 10 \log (1,38 \cdot 10^{-23}) + 10 \log (273 + 20) \quad P_R[dBm] = -228,6 + 24,66 \cong -204 \text{ dBm}$$

Si consideramos la temperatura de $20^\circ C$ como un valor ambiente normal, luego, para valores de anchos de banda diferentes a $1 Hz$, tendremos la expresión final de cálculo, $P_R[dBm] = -204 \text{ dBm} + 10 \log \Delta f$

Y para otras temperaturas diferentes, resultará la expresión más general

$$P_R[dBm] = -228,6 + 10 \log T + 10 \log \Delta f$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.8.3.2 Ruido blanco, gaussiano o de Johnson

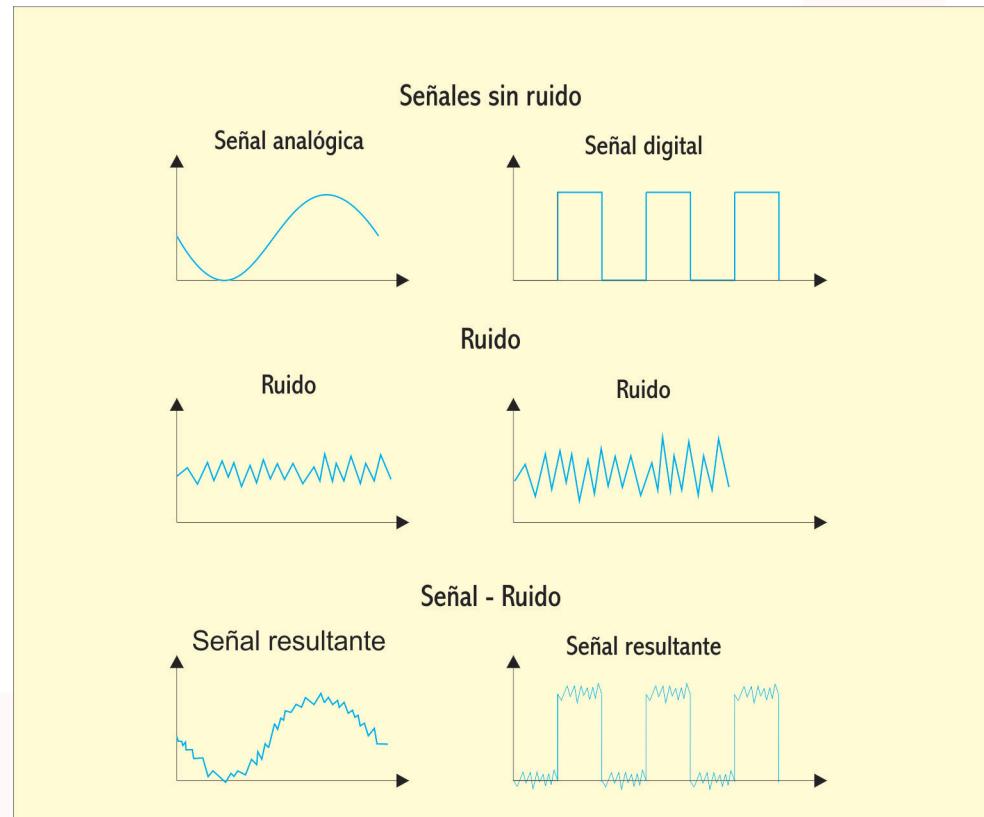
Los cambios de temperatura tienen poca influencia en los valores finales; no así los anchos de banda considerados

Si se tienen señales analógicas o digitales como las graficadas en la siguiente figura, se puede observar que el ruido blanco se suma a la señal a transmitir formando un **ruido de fondo** de bajo nivel, que puede llegar a producir errores si los niveles de la señal útil son bajos.



3.8.3.2 Ruido blanco, gaussiano o de Johnson

Efectos del ruido blanco sobre
las señales

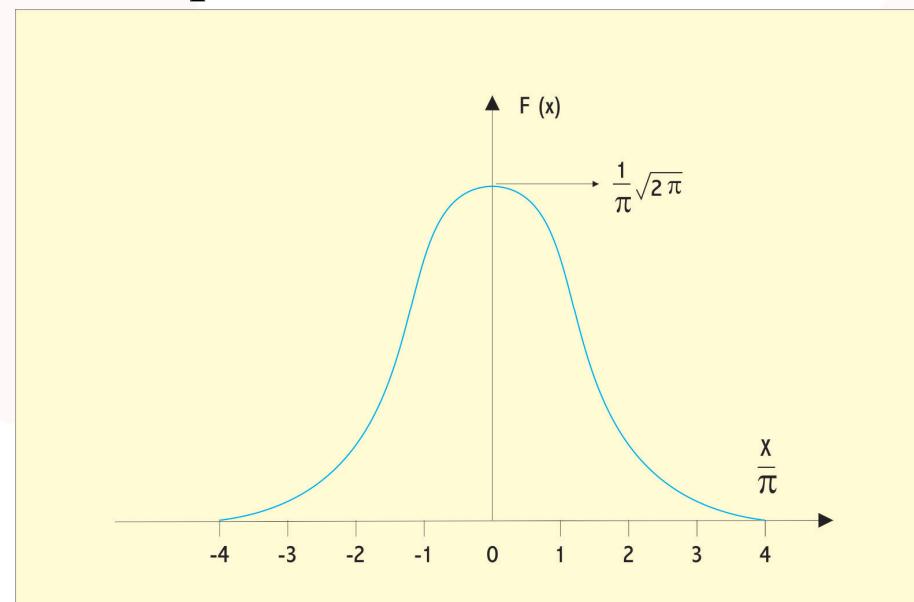




Técnicas de la transmisión de la información

3.8.3.2 Ruido blanco, gaussiano o de Johnson

Mediante la distribución normal podemos hallar la probabilidad de que la onda de ruido alcance un valor particular en un instante determinado. Una propiedad de la distribución de Gauss es que siempre habrá una probabilidad finita, aunque pequeña, de que se pueda exceder cualquier nivel.





Técnicas de la transmisión de la información

3.8.3.3 Ruido impulsivo

Se denomina ruido impulsivo al que se produce a intervalos irregulares, con picos de corta duración pero de gran amplitud, y que no aparece en forma continua. Muchas veces es difícil localizar su origen.

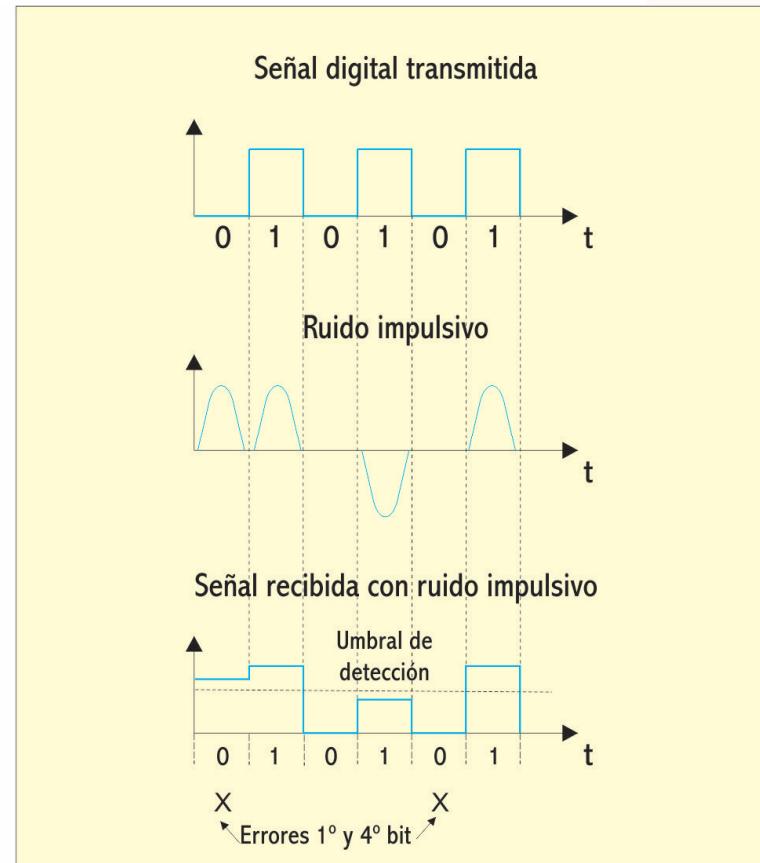
En particular este ruido no produce efectos significativos importantes en los canales analógicos. Sin embargo, puede ser de muy alto nivel en las centrales de conmutación telefónica de tecnología electromecánica. En ellas es introducido por los selectores electromecánicos que forman parte de estas, y por el acoplamiento de impedancias que se produce a través de las baterías que usa la propia central.



Técnicas de la transmisión de la información

3.8.3.3 Ruido impulsivo

Efecto del ruido impulsivo en transmisiones digitales.





Técnicas de la transmisión de la información

3.8.3.4 Ruido de intermodulación

Se denomina ruido de intermodulación al que se produce cuando se aplican varias señales senoidales a un dispositivo no lineal; o cuando varias señales multiplexadas en frecuencia por el mismo canal sufren desplazamientos de sus portadoras, ocupando las bandas de protección y encimándose a las señales contiguas.



Técnicas de la transmisión de la información

3.8.3.5 Diafonía

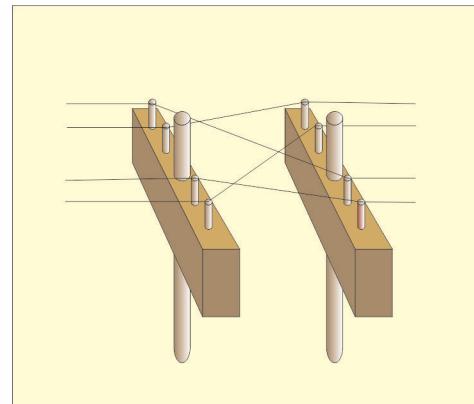
Se denomina diafonía al ruido que se produce por el acoplamiento indeseado entre dos señales a causa de la inducción electromagnética mutua, por lo general producida entre conductores. Esta se conoce vulgarmente como *crosstalk*.



Técnicas de la transmisión de la información

3.8.3.6 Diafonía

Esquema de una trasposición en un tendido aéreo de cables de cobre.





Técnicas de la transmisión de la información

3.8.3.6 Ruido de línea o simple

Se denomina ruido simple o de línea, al que se produce por la presencia de líneas eléctricas de energía Ç que se utilizan en las instalaciones eléctricas, para iluminación y alimentación de equipos y/o sistemas eléctricos y electrónicos.

Cuando estas líneas están cerca de canales de comunicación, por efecto de la inducción electromagnética afectan las transmisiones de señales que circulan por ellas.



Técnicas de la transmisión de la información

3.9 Distorsión

3.9.1 Definición y conceptos generales

Definiremos como distorsión la deformación que sufre una señal eléctrica a causa de elementos del propio circuito, como resistencias, condensadores o bobinas, o de otros externos a él.

La distorsión puede producirse por varias causas:

- Por atenuación
- Por retardo de grupo
- Por efectos meteorológicos



Técnicas de la transmisión de la información

3.9.2 Distorsión por atenuación

Llamaremos distorsión por atenuación a la que se produce a causa de las características resitivas y reactivas del canal físico de comunicaciones.

Si recordamos la expresión podemos observar que la impedancia de un canal de comunicaciones se puede expresar mediante un número complejo Z , *tal que*

$$Z = R + j(X_L - X_C)$$

donde:

R = resistencia óhmica.

j = unidad imaginaria.

X_L = reactancia inductiva.

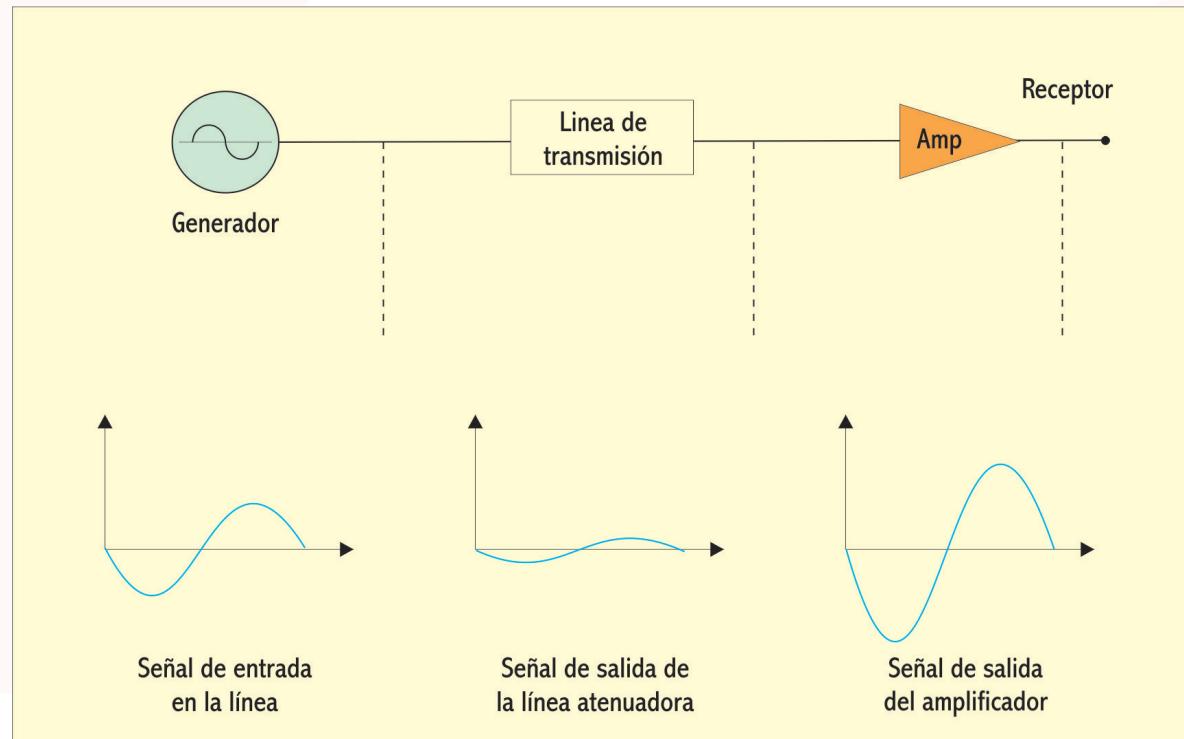
X_C = reactancia capacitiva.



Técnicas de la transmisión de la información

3.9.2 Distorsión por atenuación

Efectos de la resistencia eléctrica en una línea de transmisión





Técnicas de la transmisión de la información

3.9.2 Distorsión por atenuación

En cuanto a las reactancias inductiva y capacitiva, su valor sí es función de la frecuencia. En efecto, recordando las expresiones, podemos observar que

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

Reemplazando, la impedancia quedará igual a

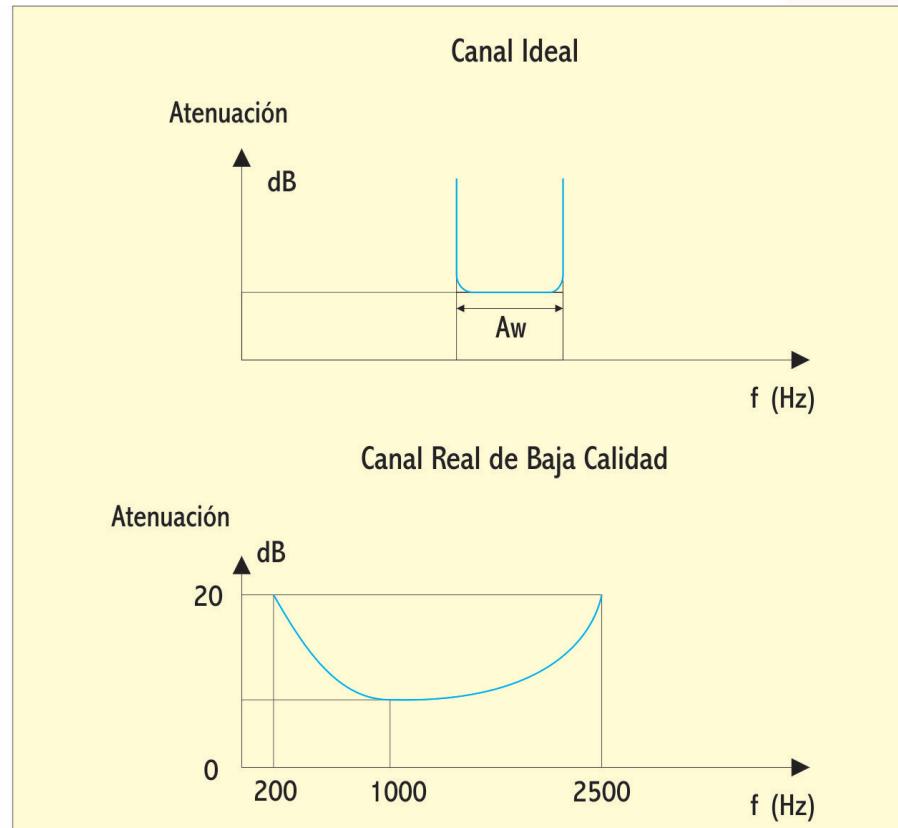
$$Z = R + j \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC} \right)$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.9.2 Distorsión por atenuación

Características de la atenuación/frecuencia en canales vocales y reales.

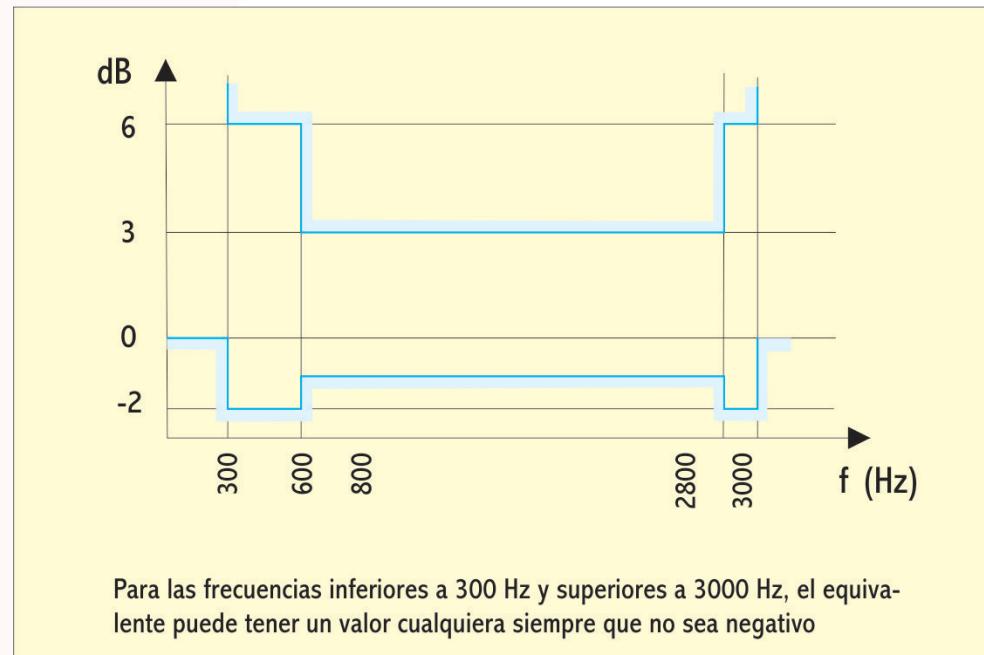




Técnicas de la transmisión de la información

3.9.2 Distorsión por atenuación

Recomendación M.1020. Distorsión por atenuación

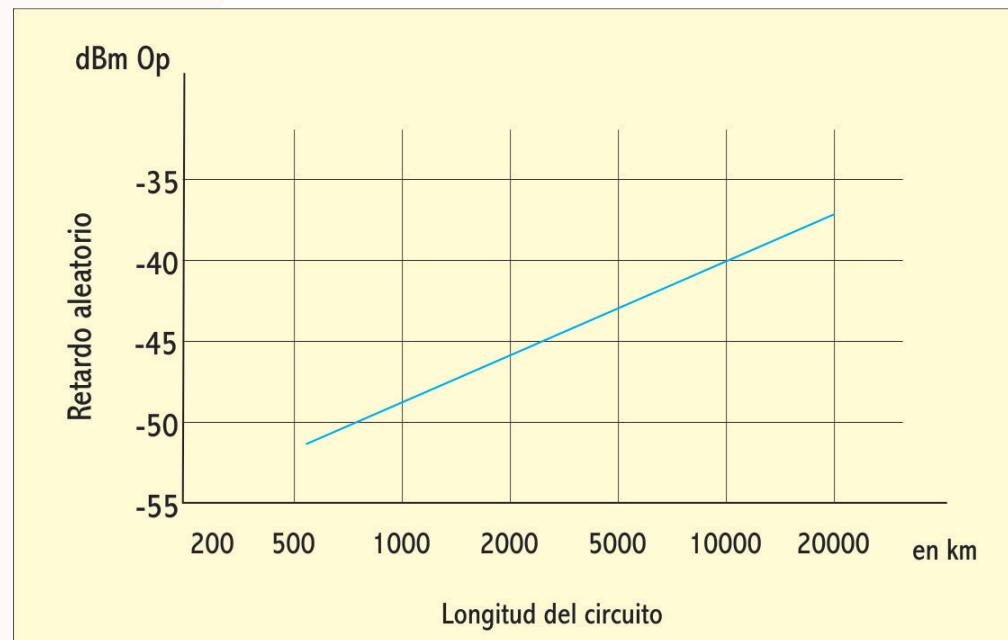




Técnicas de la transmisión de la información

3.9.2 Distorsión por atenuación

Recomendación M.1020. Ruido aleatorio





Técnicas de la transmisión de la información

3.9.2 Distorsión por atenuación

Como caso particular puede ocurrir que a una frecuencia denominada frecuencia de resonancia la reactancia inductiva sea igual a la reactancia capacitiva. En ese caso resultará:

$$X_L = X_C$$

Luego, la impedancia y la resistencia óhmica resultarán iguales, $Z = R$. La frecuencia a la que se produce el efecto de resonancia resultará de reemplazar en la expresión por los valores de las reactancias inductiva y capacitiva, por lo que si se opera en forma conveniente tendremos

$$f_r = \frac{1}{\sqrt{2\pi LC}}$$

A esa frecuencia el canal no tendrá efecto reactivo alguno.



Técnicas de la transmisión de la información

3.9.3 Distorsión por retardo de grupo

Llamaremos distorsión por retardo de grupo, o de fase, a la que se produce como consecuencia de que las distintas partes componentes de una señal se propagan en el canal a velocidades diferentes, y arriban al colector en un intervalo de tiempo distinto de cero.

La velocidad de propagación de las señales es función de la frecuencia. Al estar definidas las señales por un intervalo de frecuencias, para cada frecuencia del intervalo habrá una velocidad diferente.



Técnicas de la transmisión de la información

3.9.3 Distorsión por retardo de grupo

En las líneas que poseen características inductivas, las frecuencias más bajas viajan más rápido que las frecuencias más altas.

Recordando la expresión de la reactancia inductiva:

$$X_L = 2\pi fL$$

Por otro lado, en las líneas que poseen características capacitivas la

Recordando la expresión de la reactancia capacitiva:

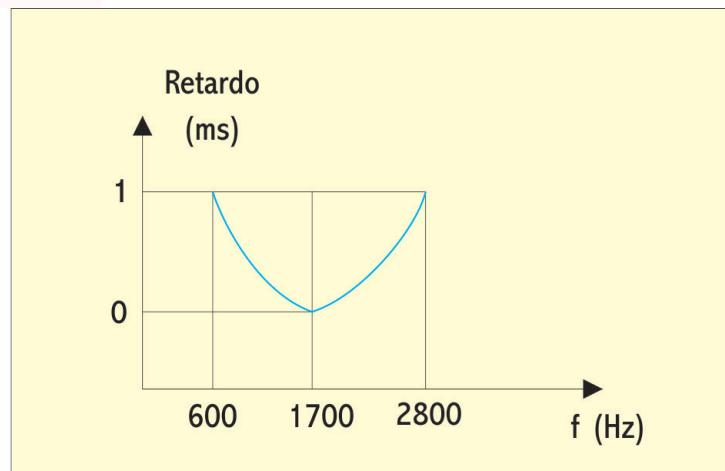
$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.9.3 Distorsión por retardo de grupo

Distorsión de retardo de grupo en circuitos telefónicos



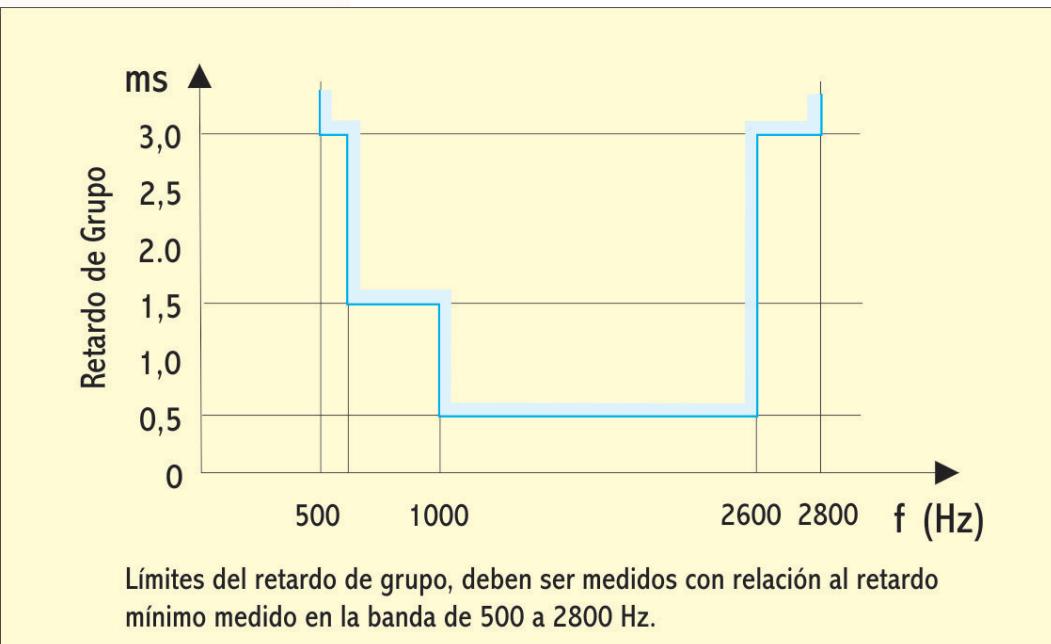
Es así como se presenta un efecto no deseado denominado dispersión en el tiempo de la señal. Esta dispersión aumenta en grado significativo la atenuación y la distorsión por retardo de grupo de la señal.



Técnicas de la transmisión de la información

3.9.2 Distorsión por retardo de grupo

Recomendación M.1020. Distorsión por retardo de grupo





Técnicas de la transmisión de la información

3.9.4 Distorsión por efectos meteorológicos(enlaces inalámbricos)

Se denomina distorsión por efectos meteorológicos la que se produce a causa de lluvias, nieve, tormentas de polvo u otras condiciones similares que afectan el medio de propagación y producen cambios bruscos en la señal.

Este tipo de distorsión afecta en particular la transmisión por medios radioeléctricos de alta frecuencia –HF– y sobre todo los circuitos que utilizan microondas de muy alta y ultraalta frecuencia –VHF y UHF.



Técnicas de la transmisión de la información

3.10 Errores en el proceso de transmisión de datos

3.10.1 Conceptos generales

3.10.1.1 Definición

Se denomina error de transmisión toda alteración o mutilación en un mensaje recibido, que hace que no sea una réplica fiel del mensaje tal como fue transmitido.

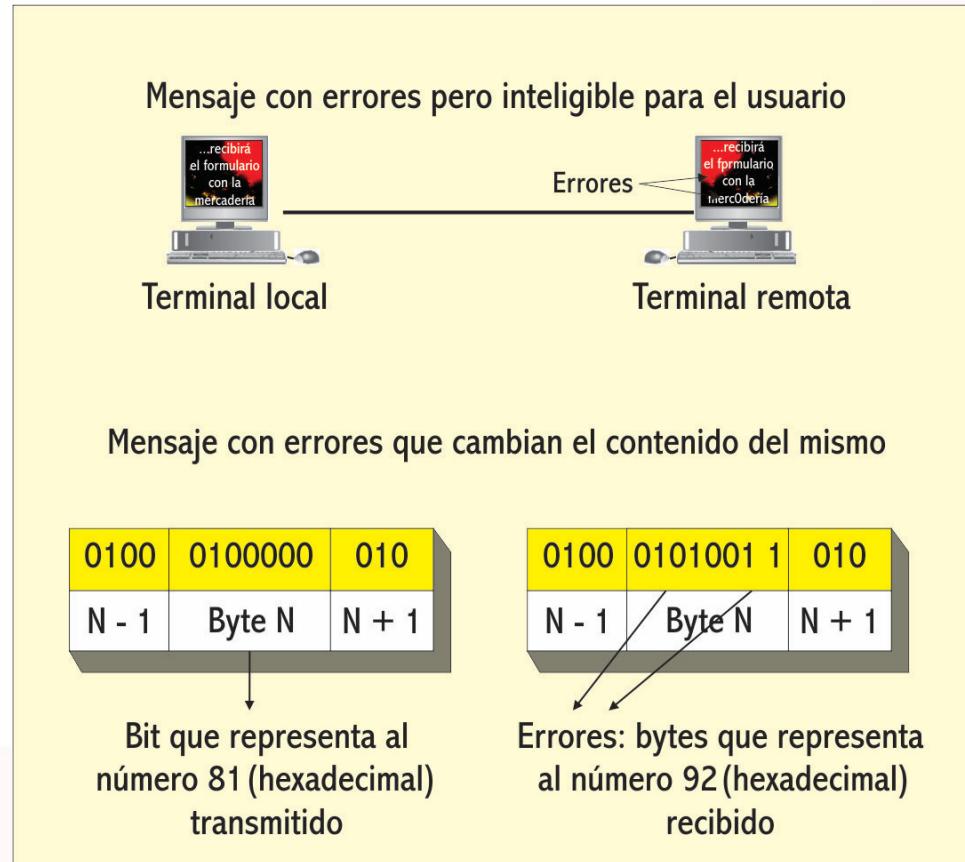
Los errores pueden alterar el contenido del mensaje de tal forma que este se vuelva inválido, o bien, que sea útil a pesar de todo, por cuanto se puede interpretar el contenido, y aquellos no invalidan el sentido de lo que se quiso transmitir.



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.1.1 Definición

Transmisión de mensajes con errores





Técnicas de la transmisión de la información

3.10.1.2 De operador a operador

Cuando la comunicación se efectúa de operador a operador en forma directa, operando las máquinas correspondientes, la intervención de estos permite la detección y la corrección directa de los errores; asimismo, son ellos los que regulan los procedimientos de corrección y retransmisión.

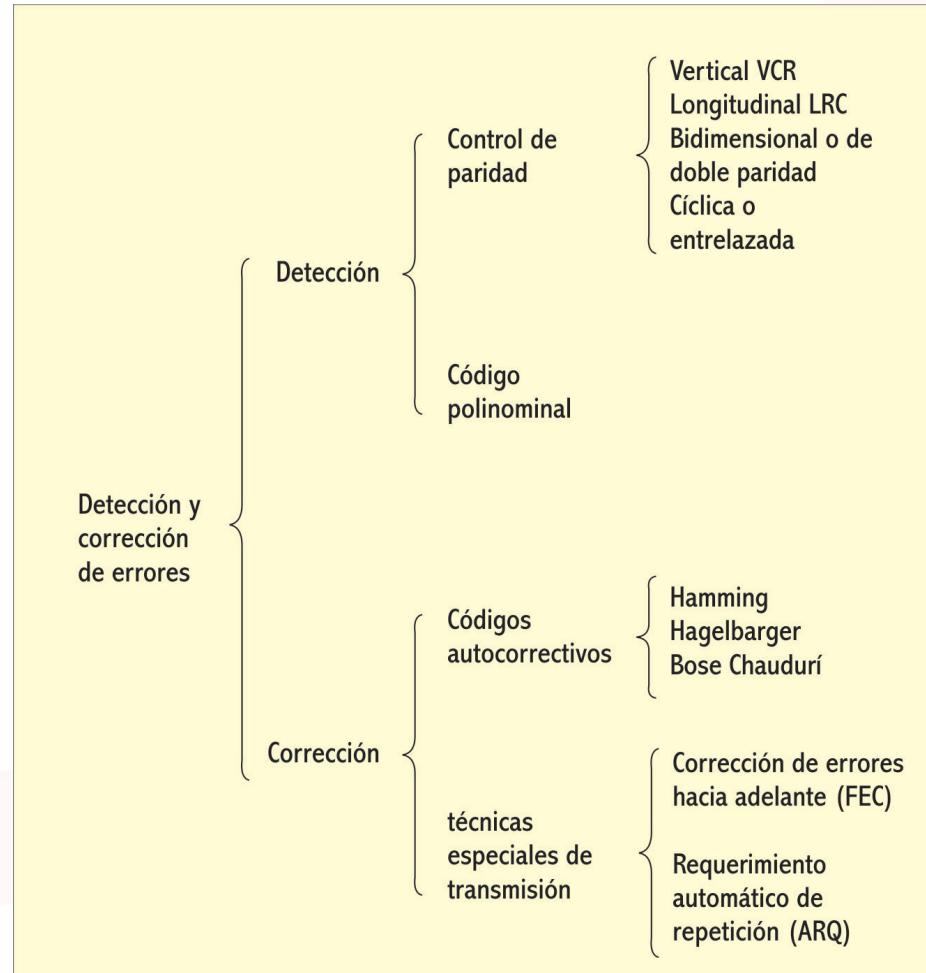
Cuando no intervienen los operadores, solo se usa la inteligencia presente en el sistema para detectar los errores en forma automática, analizarlos, aceptarlos o rechazarlos de manera parcial o total. En la siguiente figura se detallan los métodos más importantes empleados para la detección y la corrección de los errores que se utilizan en los sistemas de transmisión de datos.



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.1.3 De máquina a máquina

Métodos de detección y corrección de errores





Técnicas de la transmisión de la información

3.10.2 Tipos de errores

Los errores se pueden clasificar, según su distribución en el tiempo, en los siguientes tipos:

- Errores aislados o simples.

Son aquellos que afectan a un solo bit por vez; asimismo, son independientes entre sí, en cuanto al momento en que se producen.

- Errores en ráfagas.

Son los que afectan a varios bits consecutivos, y se presentan en períodos de tiempo indeterminados.

- Errores agrupados.

Son aquellos que se producen en tandas sucesivas de cierta duración, y que no afectan necesariamente a varios bits seguidos.



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.3 Tratamiento de los errores

Una forma de disminuir, detectar y corregir errores de transmisión, es enviar datos adicionales en el contenido del mensaje. Cuanto mayor es la cantidad de bits adicionales que no llevan información, si bien se logra una mayor protección contra errores, disminuye la eficiencia del proceso de transmisión.

Es así como en la transmisión sincrónica existe el compromiso entre el tamaño de los bloques de cada mensaje y la eficiencia de la transmisión. Cuanto más pequeños sean los bloques, se hace menos probable la necesidad de retransmitirlos, pero disminuye en grado apreciable la eficiencia de la transmisión.



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.4 Detección de errores por métodos de control de paridad

3.10.4.1 Consideraciones generales

El control de errores implica técnicas de diseño, fabricación de equipos y enlaces de transmisión de datos que reduzcan el porcentaje de errores. Además, incluye metodologías para detectarlos y corregirlos.

Una metodología posible es no tomarlos en cuenta, que parece algo trivial, pero no lo es tanto en cuanto que en muchos casos, por el tipo de información a trasmitir y el uso que esta recibirá, no es necesario que los errores se tomen en cuenta. Esta metodología reduce los costos y aumenta el procesamiento total.



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.4.1 Consideraciones generales

La detección de errores mediante el método de control de paridad se basa agregar otros bits de control adicionales en la secuencia de bits de información transmitidos. Estos bits de control no transportan información alguna, sino que solo se utilizan para la verificación de la paridad de la secuencia de bits de datos.

Para la verificación de la paridad existen tres métodos posibles:

- Control de paridad vertical (VCR).
- Control de la paridad longitudinal, o bidimensional (LCR).
- Control de la paridad entrelazada o cíclica.



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.4.1 Consideraciones generales

La paridad en cualquiera de los métodos que usan este sistema, puede ser par o impar.

En la paridad par, si el número de unos de la palabra de información a transmitir es impar, el bit de control que se debe agregar será un uno, para que la suma total de ellos resulte un número par. Por otro lado, si la paridad adoptada fuera impar, el bit de control que se debería agregar sería un cero, para que la suma total de ellos resulte un número impar.

Paridad par será “0”, carácter resultante	0	01101101100
Paridad impar será “1”, carácter resultante	1	01101101100



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.4.2 Control de la paridad vertical

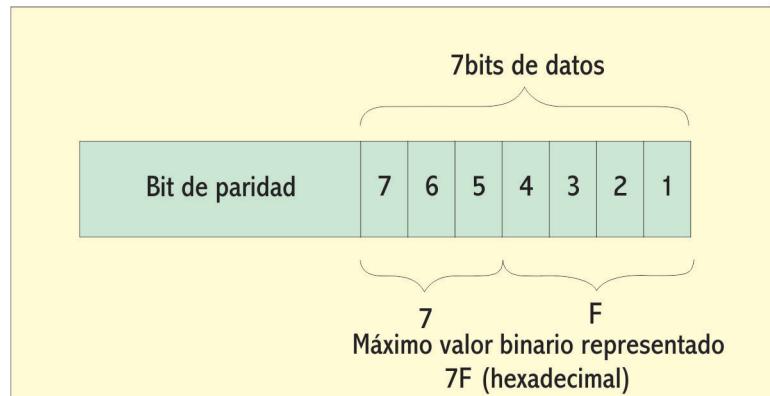
El método conocido como control de la paridad vertical o VRC (*Vertical Redundancy Check*) se aplica a cada carácter o byte, y su uso se relaciona fundamentalmente con el código ASCII.

Consiste básicamente en el agregado de un bit adicional al conjunto de 7 bits que constituyen un carácter en el código mencionado.



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.4.2 Control de la paridad vertical



Ejemplo:

Dato transmitido	0	1	1	0	1	0	1
Para paridad “par” se agregaría un bit “0”	0	1	1	0	1	0	1
Para paridad “ímpar” se agregaría un bit “1”	0	1	1	0	1	0	1



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.4.3 Control de paridad longitudinal o bidimensional

El método conocido como control de la paridad longitudinal o LRC (*Longitudinal Redundancy Check*) se aplica a un conjunto compuesto por bloques de N caracteres de 7 bits cada uno.

En la figura se muestra un ejemplo donde $N = 5$. Obsérvese que por cada carácter de 7 bits transmitidos, se agregó un bit de paridad vertical, que en este caso es par, con lo que el carácter transmitido tendrá finalmente un total de 8 bits.



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.4.3 Control de paridad longitudinal o bidimensional

Carácter con doble inversión de bits.

Carácter transmitido con bit de paridad par

0	1101111
Paridad	Dato

Carácter recibido con doble inversión bit 5 y bit 7 (doble error)

0	1101010
Paridad	Dato

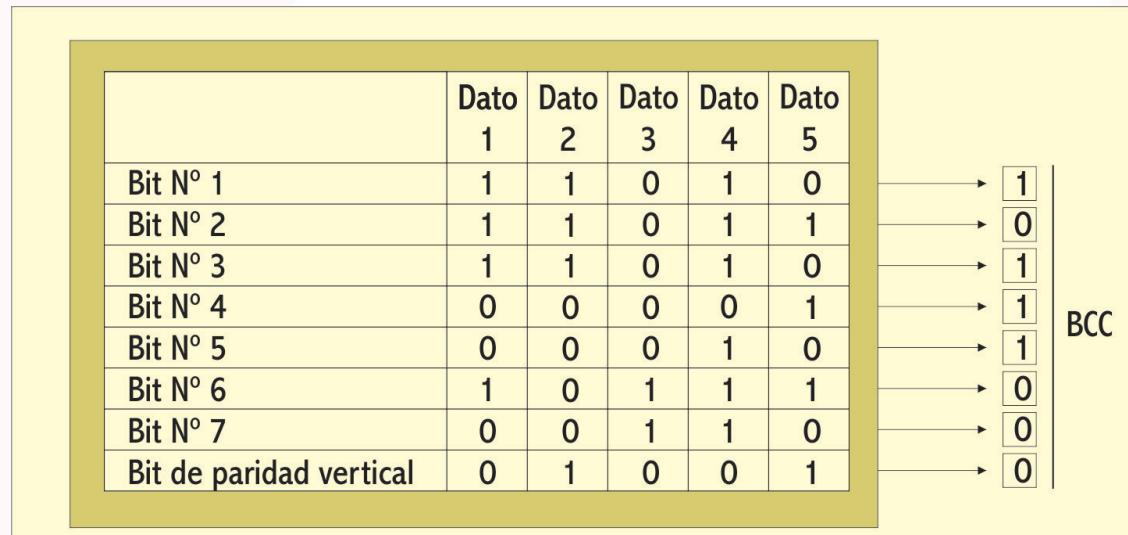
Ambos caracteres son recibidos con bit de paridad correcto



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.4.3 Control de paridad longitudinal o bidimensional

Ejemplo de control de paridad longitudinal.





Técnicas de la transmisión de la información

3.10.4.4 Control de paridad entrelazada o cíclica

El método conocido como de paridad entrelazada o cíclica es un procedimiento que proporciona un nivel de detección de los errores de calidad superior que la del método conocido como control de la paridad vertical, y menor que la del método de control de la paridad longitudinal.

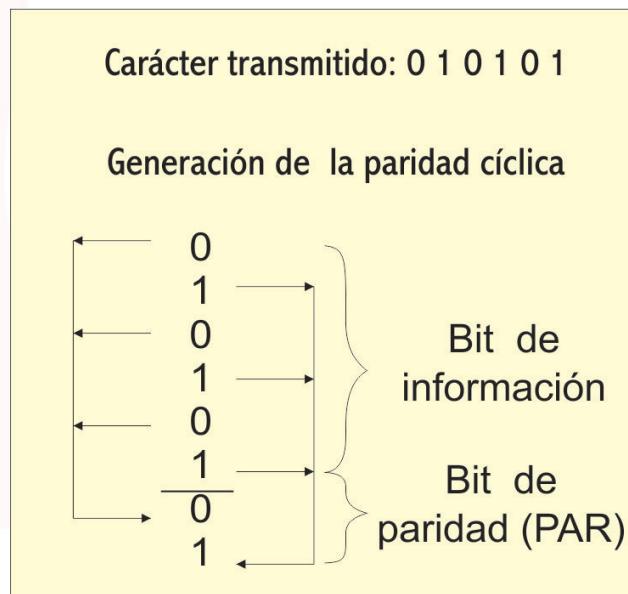
BYTES TRANSMITIDOS Bits de transmisión			BYTES RECIBIDOS el cuarto con un error		
0	0 1 0 1 0 0 0		0 0 1 0 1	0	0 0
1	1 0 1 1 0 0 0		1 1 0 1 1	0	0 0
1	0 0 0 0 0 0 1		1 0 0 0 0	0	0 1
0	1 0 0 1 0 1 1		0 1 0 0 1	1	1 1
0	1 0 0 0 0 0 1		0 1 0 0 0	0	0 1
0	1 1 1 1 0 1 1		0 1 1 1 1	0	1 1
Bit de paridad vertical (PAR)			Error		
Indica error de paridad longitudinal			Indica error de paridad vertical		
Byte de paridad longitudinal					



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.4.4 Control de paridad entrelazada o cíclica

El primer bit de paridad proporciona la paridad de los bits primero, tercero y quinto, mientras que el segundo proporciona la paridad de los bits segundo, cuarto y sexto.





Técnicas de la transmisión de la información

3.10.5 Detección de errores por adición de información redundante

3.10.5.1 *Conceptos generales*

Cuando se deben transmitir datos en las redes de área extensa (WAN) o en las de área local (LAN), para la detección de errores de transmisión, se utilizan esquemas que consisten en añadir al mensaje o el paquete información redundante que permita determinar si se produjo un error en ese proceso o no.



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.5.1 *Conceptos generales*

El procedimiento general suele ser el siguiente:

- Conocido el mensaje o paquete a transmitir, el nodo transmisor le aplica el algoritmo definido.
- Como consecuencia de esa operación se genera la información redundante que va a estar compuesta por k bits.
- El transmisor envía la información más los k bits redundantes hacia el receptor.
- El receptor separa la información de los k bits redundantes.
- Aplica el algoritmo al contenido de la información.
- Si los bits redundantes recibidos coinciden con los calculados en el receptor se acepta la información como válida.
- Si no hay coincidencia, esta se rechaza.



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.5.2. Detección de errores por el método de suma de verificación (checksum)

Concepto general del procedimiento. La suma de verificación o checksum es una forma de control por redundancia medida muy simple que permite proteger la integridad de datos, verificando que no se hayan corrompido.

Este método se emplea en numerosos protocolos utilizados en redes de área extensa, en especial en los usados en Internet, en particular en la suite conocida como TCP/IP (*Transfer Control Protocol/Internet Protocol*).



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.5.2 Detección de errores por el método de suma de verificación

Forma de ejecutar el procedimiento. Hay distintas variantes para el cálculo de los bits que se adicionarán al mensaje o paquete. Una forma general que describe el procedimiento sería la siguiente:

- Se procede en el equipo fuente a sumar los bytes adyacentes, o bien se ordenan estos de dos en dos formando palabras de 16 bits.
- Con el resultado obtenido, que serán 8 o 16 bits, se calcula el complemento a 1.
- El valor obtenido se coloca en el campo que el protocolo correspondiente tiene asignado para los bits de verificación.

Al llegar al equipo colector, se procede de la misma manera y se obtiene de nuevo un conjunto de bits de verificación.

- Si estos coinciden con los recibidos, se considerará que la transmisión se efectuó sin errores y, por lo tanto, se aceptará el paquete o mensaje; caso contrario, se rechazará.



Técnicas de la transmisión de la información

3.9.5.3. *Detección de errores por el método de control por redundancia cíclica (CRC)*

Concepto general del procedimiento. Este método, también conocido como polinomial, permite la verificación de todos los bits del mensaje mediante la utilización de un algoritmo matemático determinado. Básicamente, consiste en dividir, en el equipo transmisor, el mensaje de información que se quiere enviar por un polinomio conocido en ambos extremos del canal de comunicaciones, denominado generador.



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.5.3 Detección de errores por el método de control por redundancia cíclica (CRC)

En ella no hay términos de acarreo para la suma, ni de préstamo para la resta; estas operaciones se conocen como de **or exclusivo**.

Veamos un ejemplo de suma y uno de resta según este método:

Ejemplo de suma:
$$\begin{array}{r} 11101001 \\ + 10011100 \\ \hline 01110101 \end{array}$$

Ejemplo de resta:
$$\begin{array}{r} 11010001 \\ - 10010110 \\ \hline 01000111 \end{array}$$

Por otra parte, un mensaje de tipo 11011011 sería asimilable a un polinomio del tipo: $1.X^7 + 1.X^6 + 0.X^5 + 1.X^4 + 1.X^3 + 0.X^2 + 1.X^1 + 1$



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.5.3 Detección de errores por el método de control por redundancia cíclica (CRC)

Forma de ejecutar el procedimiento

- Definimos un polinomio $M(x)$ de grado n , a transmitir.
- Definimos un polinomio $G(x)$ de grado r (generador).
- Definimos un polinomio auxiliar del mismo grado que el generador de la forma X^r .
- Debe ser $n >> r$.
- Se genera un polinomio que contenga $(r + n)$ bits, de la forma: $M(x) X^r$ (recuérdese que $M(x)$ es de grado n).
- Se divide el nuevo polinomio generado de la forma: $M(x) X^r$ por el polinomio generador $G(x)$ (empleando el álgebra de módulo 2).
- De esa división se obtendrá un polinomio resto $R(x)$ (que siempre deberá tener un número de bits igual o menor que r , grado del polinomio resto).
- Por último, se procede a obtener un polinomio que denominaremos $T(x)$, que es el polinomio a transmitir.



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.5.3 Detección de errores por el método de control por redundancia cíclica (CRC)

Este resulta de restar, por el método antes señalado de módulo 2 los bits correspondientes al polinomio $M(x)$ *Xr*, los correspondientes al polinomio resto $R(x)$

Por lo tanto, los pasos serán: 1º $\frac{X^r M(x)}{G(x)} = C(x) + R(x)$

Donde:

$C(x)$ es el cociente de la división que no tiene utilidad alguna.

2º $T(x) = M(x) + R(x)$



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.5.3 Detección de errores por el método de control por redundancia cíclica (CRC)

Por lo tanto, los pasos serán:

3º Como se puede observar, el polinomio $T(x)$ será siempre divisible por el polinomio generador $G(x)$.

4º Si se introducen errores en la transmisión se recibirá:

$$T(x) = T(x) + E(x)$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.5.3 Detección de errores por el método de control por redundancia cíclica (CRC)

Polinomios generadores. En particular, tres polinomios se convirtieron en normas de uso internacional. En los tres, el término $(x + 1)$ está contenido como factor primo.

– Polinomio **CRC-16**

Un ejemplo de ellos es la norma denominada CRC-16, que se usa para caracteres codificados con 8 bits y cuyo polinomio generador es el siguiente:

$$P(x) = X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.10.5.3 Detección de errores por el método de control por redundancia cíclica (CRC)

Polinomio normalizado por la UIT-T

Sobre la base de pruebas prácticas con diversas opciones, el CCITT normalizó el siguiente polinomio generador.

$$P(X) = X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$$

Su rendimiento es igual al anterior.

Polinomio **CRC-12**

El tercer polinomio es el denominado CRC-12 y está indicado para caracteres codificados con 6 bits.

$$P(X) = X^{12} + X^{11} + X^3 + X^2 + X^1 + 1$$



Técnicas de la transmisión de la información

3.11 Corrección de errores

3.11.1 Consideraciones generales

Hasta aquí solo consideramos la detección de los errores; sin embargo, a partir de que se verifica su presencia, se puede optar entre corregirlos y no tomarlos en cuenta.

Otra vez podemos expresar que no tomarlos en cuenta es un enfoque trivial, pero que en muchas oportunidades, por el tipo de información a transmitir y el uso que esta recibirá, no es imprescindible atender a los errores. Esta metodología, como ya se expresó, reduce los costos y aumenta el procesamiento total.

En la mayoría de los sistemas teleinformáticos la corrección de los errores es un hecho casi imprescindible. Hay dos estrategias fundamentales para la corrección de errores:

- Corrección hacia atrás.
- Corrección hacia adelante.



Técnicas de la transmisión de la información

3.11.2 Técnicas de corrección de errores

3.11.2.2 Corrección hacia atrás

Este método consiste en el uso de sistemas detectores de errores, como los vistos en apartado anterior. En esos casos una vez que el equipo receptor detecta el error, solicita al equipo transmisor la repetición del bloque de datos transmitido, de allí la llamada corrección hacia atrás.

Este sistema implica la retransmisión de los datos tantas veces como sea necesario, hasta que se reciban libres de errores. De allí la importancia ya señalada en capítulos anteriores de una buena selección de la velocidad de modulación para el caso de las transmisiones por canales analógicos, usando módems de datos.



Técnicas de la transmisión de la información

3.11.2.3 Corrección hacia adelante

Esta técnica, denominada *Forward Error Control* (FEC), se basa en el uso de códigos autocorrectores diseñados sobre la base de sistemas de codificación redundante, que corrigen los errores detectados en la misma estación que recibió el bloque de datos.

Desde ya, estos métodos que hacen innecesaria la retransmisión no son neutros al usuario, pues para possibilitar la corrección en destino, deben enviar un número de bits varias veces superior a los necesarios usando códigos convencionales.



Técnicas de la transmisión de la información

3.11.3 Corrección de errores mediante el uso de técnicas especiales de transmisión

3.11.3.1 Retransmisión de los datos erróneos

Diversos dispositivos de las redes de transmisión de datos poseen capacidad para detectar errores, y cuando los detectan, piden su retransmisión inmediata. Este método de detección del error y su retransmisión es la manera menos costosa y más sencilla de reducir errores en la transmisión.



Técnicas de la transmisión de la información

3.11.3.2 Requerimiento automático de repetición

El sistema automático de retransmisión, también conocido como *Automatic Retransmission Request* (ARQ), solo se utiliza entre dos estaciones. Este sistema se suele denominar control por medio del eco o *echo checking*.

La mayor ventaja de este método es que prácticamente garantiza una transmisión de datos libre de errores, asumiendo que el enlace es posible.

Las desventajas son:

- El enlace es posible solo entre dos estaciones al mismo tiempo.
- El sistema ARQ es más lento que el denominado corrección de errores hacia adelante (FEC), sobre todo cuando existan errores que corregir, y será mucho más lento a medida que se incremente el número de errores.
- La estación receptora debe tener en operación un equipo transmisor, para acusar recibo y solicitar la retransmisión.

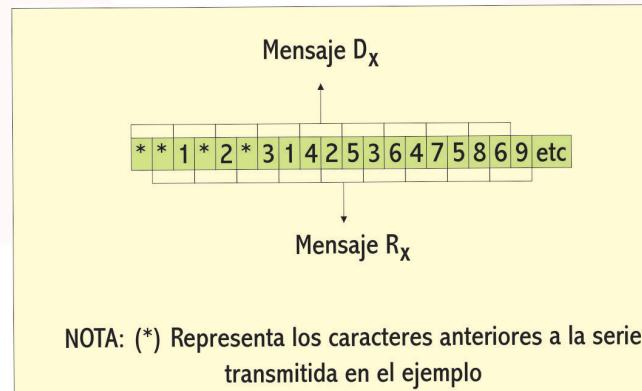


Técnicas de la transmisión de la información

3.11.3.3 Corrección de errores hacia adelante

El sistema de corrección de errores hacia adelante, también conocido como *Forward Error Correction* (FEC), se emplea en los casos en que hay más de una estación receptora y no se necesitan réplicas por parte de estas últimas.

Funciona en el modo denominado división de tiempo (*time diversity*) y permite que cada mensaje se envíe dos veces, intercalando los caracteres en diferentes instantes. En consecuencia, la estación receptora tiene dos oportunidades de recibir cada carácter en forma correcta.





Técnicas de la transmisión de la información

3.11.3.3 Corrección de errores hacia adelante

Posibles operaciones del FEC.

OPERACIÓN DEL FEC		OPERACIÓN DEL FEC
Serir Dx	Serir Rx	
Sin error	Sin error	Se ordena imprimir el carácter
Con error	Sin error	Se ordena imprimir el carácter de la serie Rx
Sin error	Con error	Se ordena imprimir el carácter de la serie Dx
Con error	Con error	Se ordena imprimir el carácter especial que indica error en la recepción



Técnicas de la transmisión de la información

3.11.4 Corrección de errores mediante el empleo de códigos autocorrectores

3.11.4.1 Introducción

Los métodos de corrección de errores mediante el empleo de autocorrección se basan en códigos con suficiente redundancia, de forma que una vez que se detecta el error, se lo puede corregir sin necesidad de proceder a la retransmisión correspondiente.

La redundancia se extiende desde unos pocos bits hasta llegar en algunos casos al doble o aun a una cantidad mucho mayor de los necesarios para transmitir un carácter.



Técnicas de la transmisión de la información

3.11.4.2 Distancia de Hamming

Se define como distancia de Hamming al número de bits en que difieren dos secuencias binarias S_1 y S_2 de la misma longitud.

Sea por ejemplo la secuencia S_1 , que corresponde a la letra B en el alfabeto internacional Nº 5 de la UIT-T, y otras secuencias S_2 , S_3 , S_4 y S_5 , correspondientes a otras letras del mismo alfabeto. Si comparamos *bit a bit* de igual peso, la primera de las secuencias con las restantes, la distancia de Hamming estará dada por la cantidad de bits en que difieren uno a uno, los respectivos conjuntos.



Técnicas de la transmisión de la información

3.11.4.2 Distancia de Hamming

Distancias de Hamming tomadas para la secuencia correspondiente al símbolo “B”.

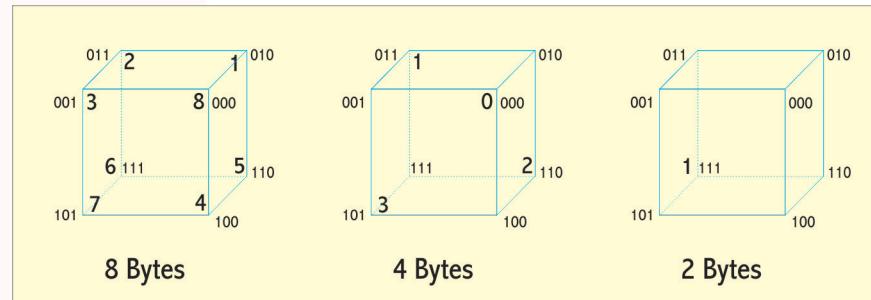
Conjunto	Representa	Secuencia binaria	Distancia de Hamming
S_1	B	0100001	---
S_2	C	1100001	1
S_3	D	0010001	2
S_4	E	1010001	3
S_5	U	1010101	4



Técnicas de la transmisión de la información

3.11.4.2 Distancia de Hamming

Supongamos que ese código es del tipo numérico, y al efecto de representar los símbolos que corresponden al alfabeto fuente usamos un sistema numérico de base octal, como se puede observar en la figura:





Técnicas de la transmisión de la información

3.11.4.2 Distancia de Hamming

Este ejemplo simple nos permite inferir que la capacidad de detección y corrección de errores es función al valor de H"; valor este que hemos denominado distancia de Hamming. En la figura se indica la relación entre el valor de H y la capacidad de detección y corrección de errores.

Distancia de Hamming	Errores	
	Corrección	Corrección
1	no	no
2	uno	no
3	dos	uno
4	tres	uno



Técnicas de la transmisión de la información

3.11.4.3 Código de Hamming

Este código autocorrector permite detectar y corregir errores mediante el empleo de bits de paridad con determinadas combinaciones únicas de bits de información.

Para demostrar la formación de una estructura que utiliza este código, emplearemos un carácter de 4 bits I_3 , I_5 , I_6 e I_7 de información, e intercalaremos 3 bits de verificación de paridad P_1 , P_2 y P_4 .



Técnicas de la transmisión de la información

3.11.4.3 Código de Hamming

El carácter resultante de siete bits será el indicado en la siguiente figura. La relación entre los bits de información y los de paridad están señalados en la figura:

Bits de información			I ₃		I ₅	I ₆	I ₇
Bits de paridad	P ₁	P ₂		P ₄			
Carácter resultante	P ₁	P ₂	I ₃	P ₄	I ₅	I ₆	I ₇



Técnicas de la transmisión de la información

3.11.4.3 Código de Hamming

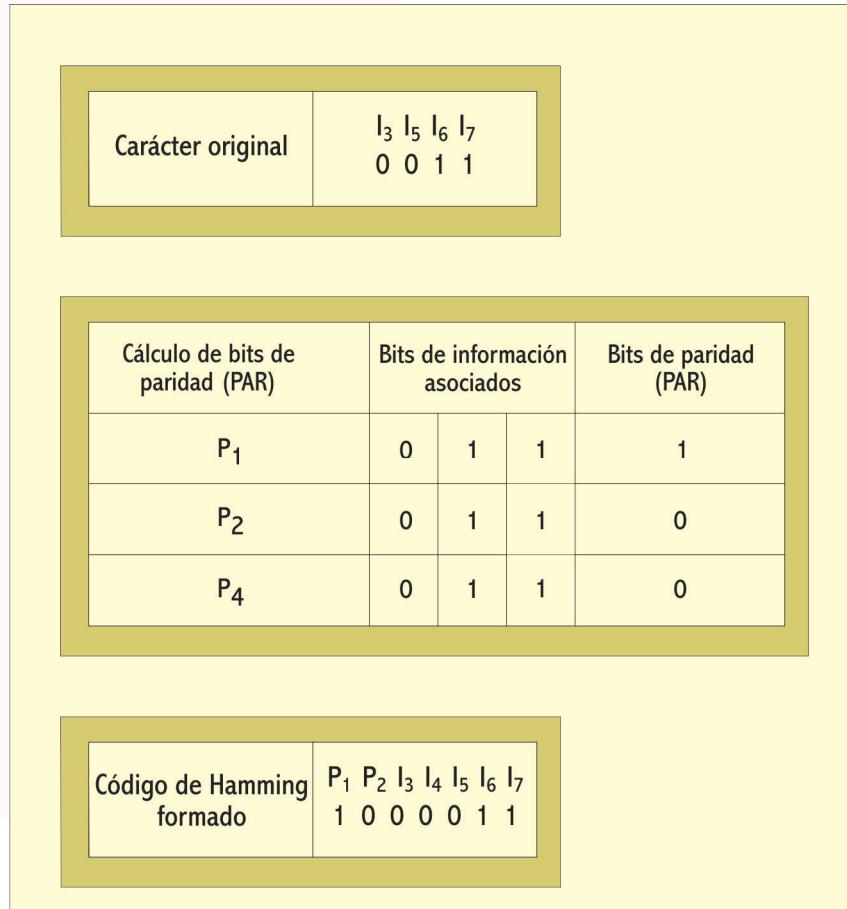
Bits de información y paridad. Relación entre ambos.

Bits de paridad	Bits de información		
P_1	I_3	I_5	I_7
P_2	I_3	I_6	I_7
P_4	I_5	I_6	I_7



Técnicas de la transmisión de la información

3.11.4.3 Código de Hamming





Técnicas de la transmisión de la información

3.11.4.3 Código de Hamming

Bits de verificación indicadores de uno de paridad				Posición numérica del bit erróneo
	P ₄	P ₂	P ₁	
0	0	0	0	Ninguno
0	0	0	1	P ₁
0	1	0	0	P ₂
0	1	1	1	P ₃
1	0	0	0	P ₄
1	0	1	0	P ₅
1	1	0	0	P ₆
1	1	1	1	P ₇

Indica error de paridad en P₄ y P₂ debido a que el bit de información 16 recibido es incorrecto

Nota: Cada “1” de la tabla significa que el bit de paridad o verificación indica un error de paridad. No es el valor real del bit de verificación.



Técnicas de la transmisión de la información

3.11.4.4 Código de Hagelbarger

Este código permite corregir hasta 6 bits consecutivos, mientras que el código de Hamming corrige en un bloque de determinadas dimensiones solo un bit. El código Hagelbarger exige que al grupo de errores le sucedan por lo menos 19 bits válidos antes de comenzar otra serie de bits erróneos.

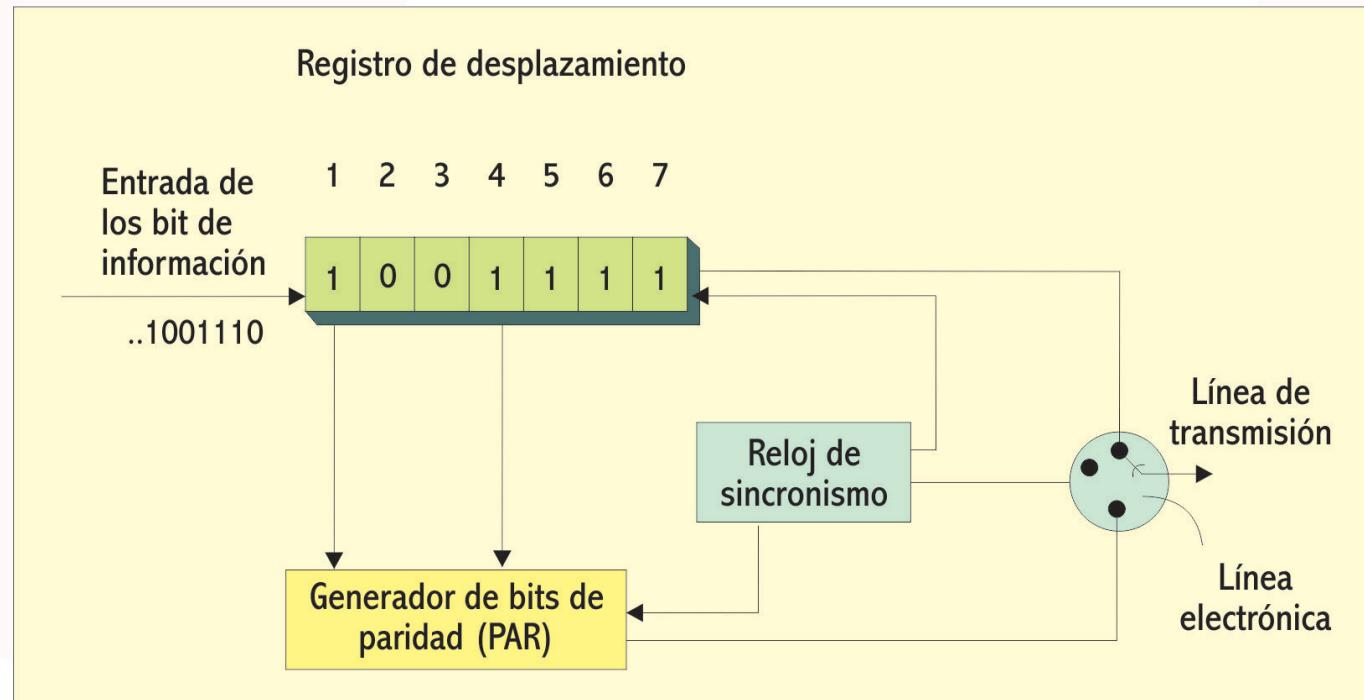
En la figura se describe un codificador Hagelbarger. Se puede observar que los bits entran en un registro de desplazamiento serie.



Técnicas de la transmisión de la información

3.11.4.4 Código de Hagelberger

Modificador Hagelberger.





Técnicas de la transmisión de la información

3.11.4.5 Código de Bose-Chaudhuri

El código de Bose-Chaudhuri tiene una distancia de $H = 5''$; *en consecuencia puede detectar hasta cuatro errores, y corregir hasta dos bits.*

Existen varias versiones del código, pero la primitiva preveía la introducción de 10 bits adicionales por cada 21 bits de información transmitida.



Técnicas de la transmisión de la información

Es por ello que cuando una organización diseña o implanta un sistema determinado con su tecnología asociada correspondiente, deben tenerse presentes los aspectos que siguen:

- ¿Cuál es la tasa de error, tanto para las comunicaciones locales como para las remotas?
- ¿Cuáles serán los medios para recuperar la información afectada por errores?
- ¿Cuál es la cantidad de información a transmitir por unidad de tiempo; que se corresponde con el concepto definido como velocidad real de transferencia de datos?
- ¿Cuál es la velocidad de transmisión necesaria para satisfacer los requerimientos del sistema?



Técnicas de la transmisión de la información

Sobre la base de ello, se deberá determinar:

- El ancho de banda del canal que será necesario usar.
- El tipo de control de errores que se requiere.
- Los medios de comunicaciones, y elementos técnicos, que podrán cumplir con esos requerimientos.