

31
2ij



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

**Facultad de Estudios Superiores
"Cuautitlán"**



"LAS SEÑALES Y SU ESPECTRO"

TRABAJO DE SEMINARIO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

CLEOFAS FRANCISCO ESPINOZA PEREZ

ASESOR: ALFONSO CONTRERAS MARQUEZ



IZCALLI, EDO DE MEX.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN
PRESENTE.

AT'N: ING. RAFAEL RODRIGUEZ CEBALLOS
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES-C.

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautilán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Comunicaciones.

Las Señales y su Espectro "

que presenta el pasante: Claudio Francisco Espinosa Pérez

con número de cuenta: 7593598-4 para obtener el Título de:

Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautilán Izcalli, Edo. de México, a 27 de marzo de 1996

MODULO:	PROFESOR:	FIRMA:
Primero	Ing. Alfonso Contreras Márquez	<i>Alfonso Contreras Márquez</i>
Segundo	Ing. Juan González Vega	<i>Juan González Vega</i>
Cuarto	Ing. José Sánchez Pérez	<i>José Sánchez Pérez</i>

DEP/VODOSEM

A MIS PADRES

**FIDENCIO ESPINOZA SANCHEZ
NATALIA PEREZ RAMIREZ**

A MI ESPOSA Y A MIS HERMANOS

INDICE

1.- INTRODUCCION

1.1 SEÑALES ANALOGICAS Y DIGITALES.	2
1.2 SEÑALES EN COMUNICACION ANALOGICA Y DIGITAL.	2
1.3 SISTEMAS DE COMUNICACION DE DOS ESTADOS.	3
1.4 BITS, BYTES, ETC.	5
1.5 VENTAJAS DE UN SISTEMA DIGITAL.	9
1.6 DESVENTAJAS DE UN SISTEMA DIGITAL	13
1.7 DIAGRAMAS A BLOQUES DEL SISTEMA	13
1.8 DEFINICIONES BASICAS.	24

2.- LAS SEÑALES Y SU ESPECTRO.

2.1 CLASIFICACION DE LAS SEÑALES.	26
2.2 SISTEMAS LINEALES.	30
2.3 SERIES DE FOURIER.	38
2.4 EL RUIDO EN LOS SISTEMAS DE COMUNICACION.	45

1.- INTRODUCCION

1.1 INTRODUCCION

Debido al avance de la tecnología en la comunicación digital y a la gran demanda de transmisión de datos, la transmisión digital vino a ofrecer una flexibilidad para el procesamiento de datos, mas grande que la transmisión analogica.

El objetivo de esta tesina es hacer un breve bosquejo de las señales en la comunicación analogica digital.

1.2 COMUNICACION ANALOGICA Y DIGITAL

La característica principal de un sistema de comunicación digital es que, transmite una forma de onda determinada, de entre un numero finito de formas de onda posibles, mientras que en caso de la comunicación analogica el numero de formas de onda posible es en teoria infinito.

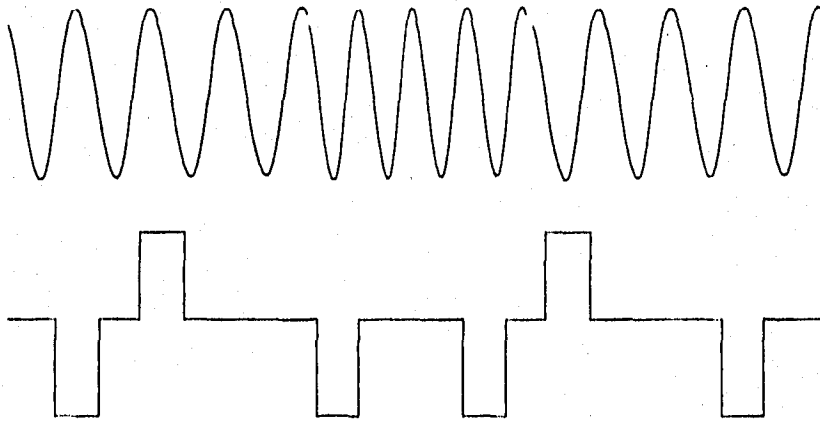


Fig. 1.1 Comunicación analógica y digital

Un sistema de comunicacion digital determina, a partir de una onda recibida y afectada hasta cierto grado por el ruido, cual ha sido la forma de onda transmitida.

1.3 SISTEMAS DE COMUNICACION DE DOS ESTADOS

El telégrafo y la clave Morse es el ejemplo más antiguo de comunicación de dos estados y su principio se basa en el flujo o ausencia de corriente eléctrica a través de una bobina. Como se puede ver en la figura 1.2, el cierre del interruptor en la estación transmisora produce un flujo de corriente a través de la bobina en la estación receptora, ocasionando con esto que la armadura de la misma produzca un sonido al ser atraída por la bobina. Al abrir el interruptor el flujo de corriente es cortado y con esto, mediante el uso de un resorte, la armadura de la estación receptora regresa a su posición original produciendo otro sonido diferente.

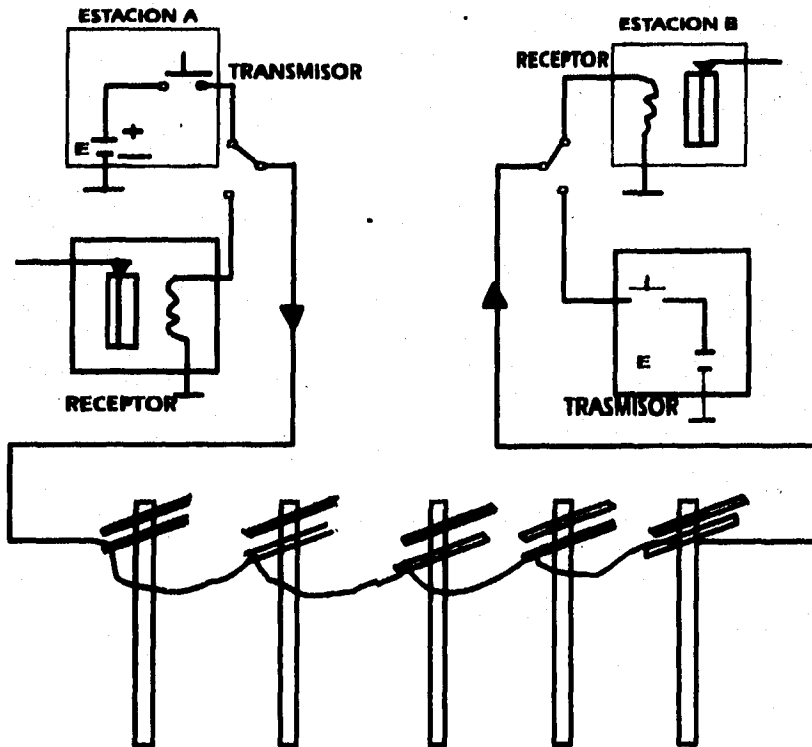


Fig. 1.2 Sistema de telegrafía

El código desarrollado por Morse se basa en el lapso transcurrido entre las activaciones sucesivas del interruptor, teniéndose dos estados específicos. un estado de corta duración al cual se le denomina "punto" y otro de larga duración llamado "línea".

A . —	T — —
B — . . .	U . . —
C — : — .	V . . . —
D — . .	W . — —
E .	X — . . —
F . . — .	Y — . — —
G — — .	Z — — . .
H	' — — . . — —
I — . — . —
J . — — —	1 . — — — —
K — . —	2 . . — — —
L . — . .	3 . . . — —
M — —	4 —
N — .	5
O — — —	6 —
P . — — .	7 — — . . .
Q — — . —	8 — — — . .
R . — .	9 — — — — .
S . . .	0 — — — — —

Fig. 1.3 Clave Morse

Gran parte de los principios de operación y terminología del telégrafo todavía se usan y han servido como base para los sistemas digitales modernos, el sistema de comunicación de dos estados se usa en los sistemas de procesamiento y transmisión de datos.

1.4 BITS, BYTES, ETC.

SISTEMA BINARIO

En un sistema binario los símbolos utilizados son el "1" y el "0", a un dígito binario se le conoce como "bit" y este puede tomar el valor de "1" o "0".

Para representar el sistema binario se utiliza lo que se conoce como notación posicional. Esto es que debido a la posición. Se tiene un valor en binario, en cada posición solo se tienen dos valores posibles mientras que en el decimal se tienen diez valores, la posición representa el peso de dicho dígito con respecto a la base numérica como por ejemplo el número 578.26 el cual se compone de 5 centenas + 7 decenas + 8 unidades + 2 décimas + 6 centésimas o representado en otra forma:

$$578.26 = 5 \times 100 + 7 \times 10 + 8 \times 1 + 2 \times 1/10 + 6 \times 1/100$$

$$578.26 = 5 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2}$$

En este ejemplo la base numérica es 10, el peso de cada posición es una potencia de diez y es entonces diez veces más grande que el peso de la posición inmediata de la derecha en el sistema binario se tiene como base el "dos" y el peso de cada posición es entonces una potencia de "dos". Entonces se tiene por ejemplo, la representación del número binario 10011101

en decimal, se obtiene como sigue:

$$\begin{aligned} 10011101 &= 1 \times 2^7 + 0 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\ &= 128 + 0 + 0 + 16 + 8 + 4 + 0 + 1 \\ &= 157 \end{aligned}$$

A continuación se muestra la tabla 1.1 de potencias de "dos", con su correspondiente representación en decimal y en binario.

POTENCIA DE DOS	VALOR EN DECIMAL	VALOR EN BINARIO
2^0	1	0000 0000 0000 0001
2^1	2	0000 0000 0000 0010
2^2	4	0000 0000 0000 0100
2^3	8	0000 0000 0000 1000
2^4	16	0000 0000 0001 0000
2^5	32	0000 0000 0010 0000
2^6	64	0000 0000 0100 0000
2^7	128	0000 0000 1000 0000
2^8	256	0000 0001 0000 0000
2^9	512	0000 0010 0000 0000
2^{10}	1024	0000 0100 0000 0000
2^{11}	2048	0000 1000 0000 0000
2^{12}	4096	0001 0000 0000 0000
2^{13}	8192	0010 0000 0000 0000
2^{14}	16384	0100 0000 0000 0000
2^{15}	32768	1000 0000 0000 0000

TABLA 1.1

El cambio de decimal a binario se lleva a cabo descomponiendo el número decimal en sus correspondientes potencias de "dos", como se ve en el ejemplo siguiente:

$$\begin{aligned}
 560 &= 512 + 32 + 16 \\
 &= 2^9 + 2^5 + 2^4 \\
 560 &= 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0
 \end{aligned}$$

El sistema hexadecimal es de gran utilidad ya que la mayoría de los sistemas digitales procesan la información agrupando los bits en conjuntos de 8, 16 o 32 bits por lo que su representación escrita se facilita utilizando notación hexadecimal o HEX.

Estos grupos de bits se conocen técnicamente con los siguientes nombres:

Al de 8 bits se le conoce como "byte", al de 16 bits como "palabra" ("word") y al de 32 bits como "palabra larga" ("long word").

La base fundamental del procesamiento de información en los sistemas digitales es lo que se conoce como álgebra de Boole, por medio de esta se pueden definir una serie de funciones lógicas y con estas últimas desarrollar funciones muy complejas.

En la figura 1.00 se presentan los símbolos y tablas de verdad de las funciones lógicas básicas. A partir de estas funciones básicas combinando varias entradas se obtienen funciones más complejas, a esto se le conoce como "lógica combinatoria" y su característica principal es que el valor de la salida en un momento determinado depende exclusivamente de los valores que tengan las entradas en ese momento

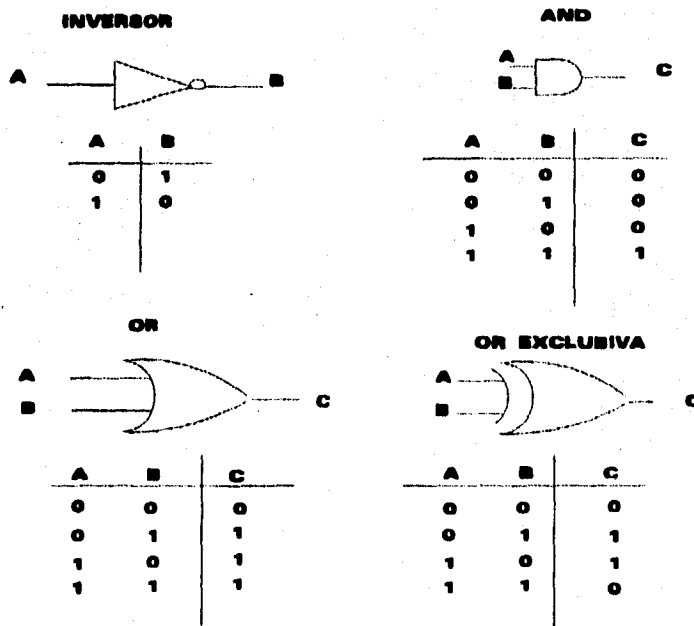


Fig. 1.4 Funciones lógicas elementales

Existe un tipo de lógica que se le llama secuencial y es en la que la salida depende no solo del estado actual de las entradas sino también del estado que tenían una o mas de ellas antes de que se produjera un cambio .

La representación física de los bits se lleva a cabo de diversas maneras como son los impulsos eléctricos y luminosos .

Hoy en día las funciones digitales son llevadas a cabo por uso de circuitos integrados (CI), que contienen desde unos cuantos transistores hasta unos miles de ellos para formar compuertas lógicas y dependiendo de la aplicación existe lo que se conoce como familias de (CI), cada una de las cuales tiene características propias dependiendo de la tecnología que se usa en su fabricación.

De entre las diversas tecnologías las mas conocidas son:

TTL ("Transistor Transistor Logic")	Bajo costo muy popular
CMOS ("Complementary Metal Oxide Semiconductor")	Bajo consumo de potencia
ECL ("Emitter Coupled Logic")	Altas velocidades, Alto consumo de potencia

La representación de los unos y los ceros en estos casos se lleva a cabo mediante el uso de rangos de niveles de voltaje, uno de los cuales representa el "0" mientras que el otro representa el "1" en la figura 1.00 se ven los valores utilizados en TTL y en ECL para la representación de los bits.

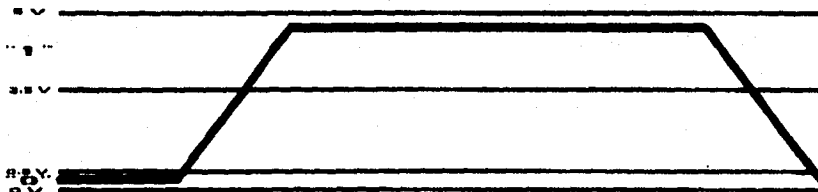


Fig. 1.5 Niveles lógicos TTL

1.5 VENTAJAS DE UN SISTEMA DE COMUNICACION DIGITAL.

Por lo general los componentes digitales son mas económicos que los analógico, también existen otras razones muy importantes por las cuales las comunicaciones se estén basando en tecnología digital, entre las ventajas principales se encuentran las siguientes:

- 1.- Facilidad de regeneración de las señales
- 2.- Mayor confiabilidad
- 3.- Mas alto desempeño
- 4.- Simplicidad para combinar señales
- 5.- Facilidad para implementación de nuevas aplicaciones
- 6.- Gran flexibilidad

1.- Facilidad de regeneración de señales

La forma de onda de un pulso digital que se propaga a través de una línea de transmisión se ve afectada por las características de transferencia de la línea que son. Atenuación, Capacitancia e Inductancia. También por ruido e interferencia, igual que una señal analogica, estos factores hacen que la señal se degrade conforme viaja en la línea. Pero debido a que los circuitos digitales operan usando rangos de voltaje determinados para representar sus dos estados posibles dicho pulso es fácilmente regenerado, siempre y cuando no haya caído por debajo del umbral de decisión (a los amplificadores que realizan esta tarea se les conoce como "regeneradores"). Debido a lo anterior se puede decir que:

El ruido y otras perturbaciones son menos acumulativas en una transmisión digital que en una analogica

En una señal analogica las distorsiones no pueden ser removidas con amplificación.

2.- Mayor confiabilidad

Mediante técnicas digitales y de detección de errores es posible obtener tasas de error muy bajas (aun en casos de existir un número considerable de errores a nivel de bit, BER), haciendo posible obtener una fidelidad muy alta, algunas de estas técnicas son:

* Verificación de paridad, Checksum y Verificación de redundancia cíclica (CRC)

Estas técnicas no son posibles en los sistemas analógicos.

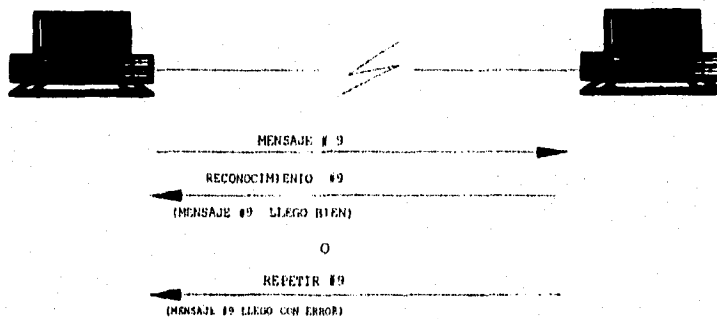


Fig. 1.6 Detección y corrección de errores

3.- Un mas alto desempeño

Un claro ejemplo de esto es la implementación de filtros digitales para procesar las señales digitales logrando parámetros de atenuación, respuesta a la frecuencia y fase muy superiores a aquellos de los filtros analógicos. Además la función de transferencia de un filtro digital puede ser alterada en el grado en que se quiera simplemente cambiando los valores numérico de los parámetros a través de programas etc.

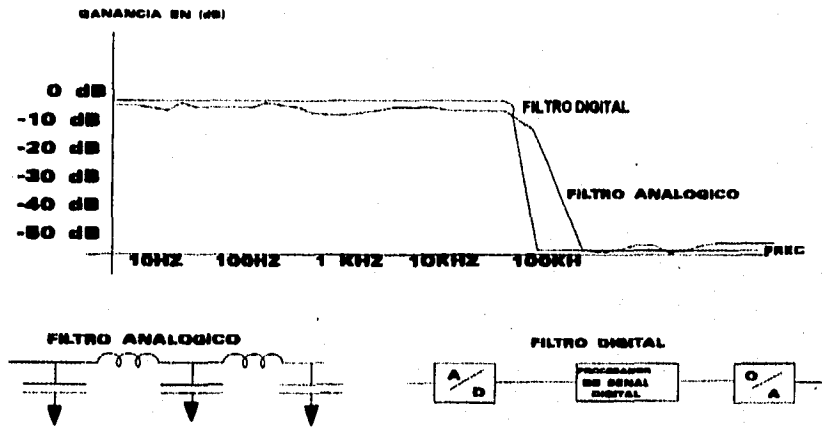


Fig. 1.7 Respuesta de un filtro digital

4.- Simplicidad para combinar señales

La combinación de señales digitales utilizando multiplexaje por división de tiempo (TDM) es mas sencillo que la combinación de señales analogicas usando multiplexaje por división de frecuencia (FDM)

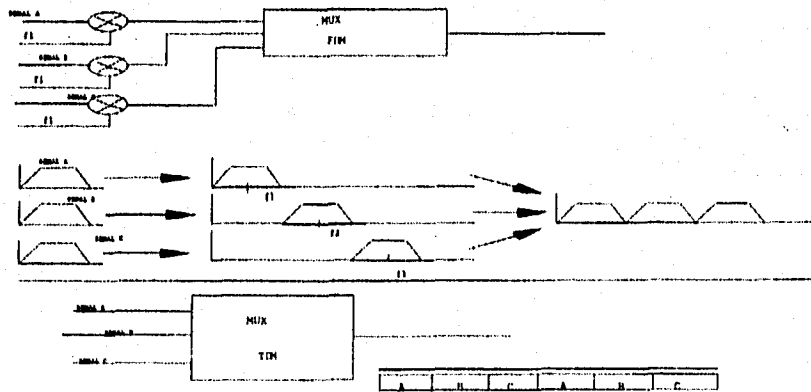


Fig. 1.8 FDM y TDM

5.- Facilidad para implementación de nuevas aplicaciones

El uso de técnicas digitales permite desarrollar algoritmos y métodos para asegurar la privacidad de la información mediante el uso de alguna forma de criptografía de mensajes.

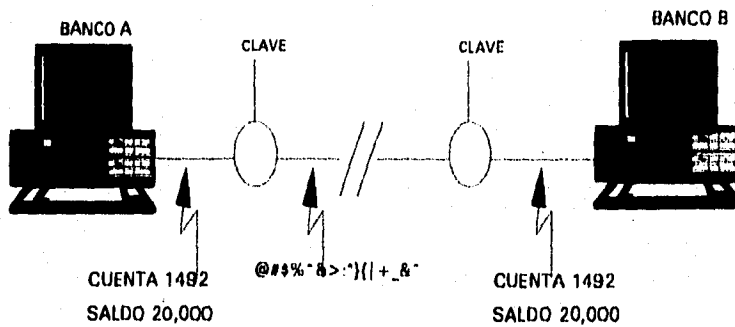


Fig. 1.9 Encriptado de mensajes

6.- Gran flexibilidad

Es posible agrupar diferentes tipos de señales digitales (datos, voz y señales de televisión) y tratarlas en forma idéntica para su transmisión o conmutación ya que todas ellas se representan mediante "bits". Un ejemplo de esto es la "RED DE SERVICIOS INTEGRADOS" o "ISDN", que contemplan la integración de muchos tipos de señales de diferente origen.

De igual manera, los mensajes digitales se pueden fácilmente agrupar o subdividir en "paquetes" de información con ciertas características que faciliten su conmutación y transmisión (X.25, FRAME RELAY, ATM).

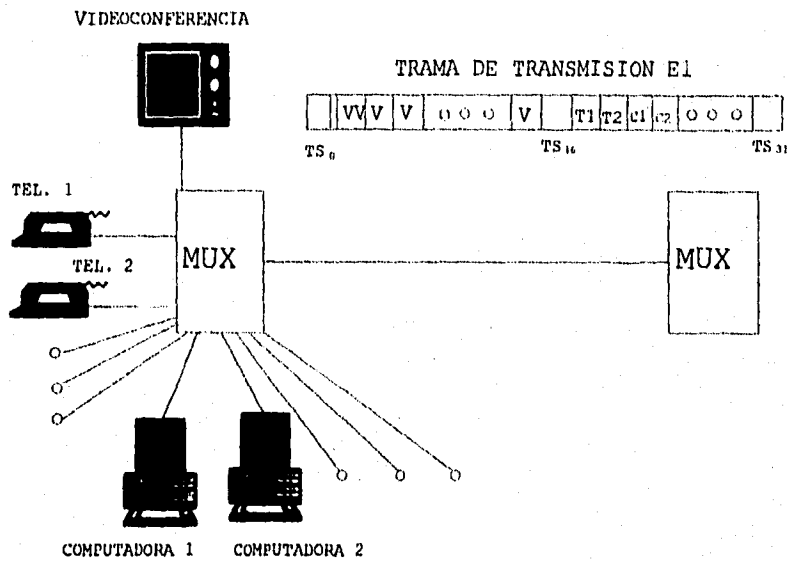


Fig. 1.10 Integración de voz, datos y video

1.6 Desventajas de la transmisión digital

- * Generalmente se requiere mayor ancho de banda
- * Se requiere sincronización del sistema

Ejemplo de la sincronización del sistema es la codificación de línea de tipo Manchester utilizada muy a menudo en redes de área local (LAN'S), que interconectan computadoras. En esta codificación los ceros se representa por transiciones negativas ocurridas en el centro del periodo de tiempo conocido como "celda de tiempo" o "bit time cell" mientras que los "unos"

son representados por transiciones positivas.

Para sincronizar al receptor con el transmisor se envía una serie de "unos" y "ceros" alternados conocida como ráfaga de preámbulo o sincronización que permite al receptor establecer cual es la duración del "bit cell".

$t = \text{bit cell time}$

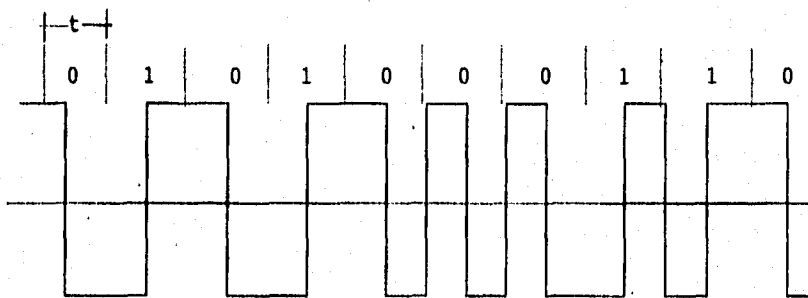


Fig. 1.11 Codificación Manchester

1.7 DIAGRAMA A BLOQUES Y SUS FUNCIONES

La figura 1.00 nos muestra el diagrama a bloques de un sistema de comunicación digital típico, la parte del transmisor esta comprendida por los bloques superiores, mientras que el receptor esta formado por los bloques inferiores los cuales tienen funciones de procesamiento inversos a aquellos del transmisor.

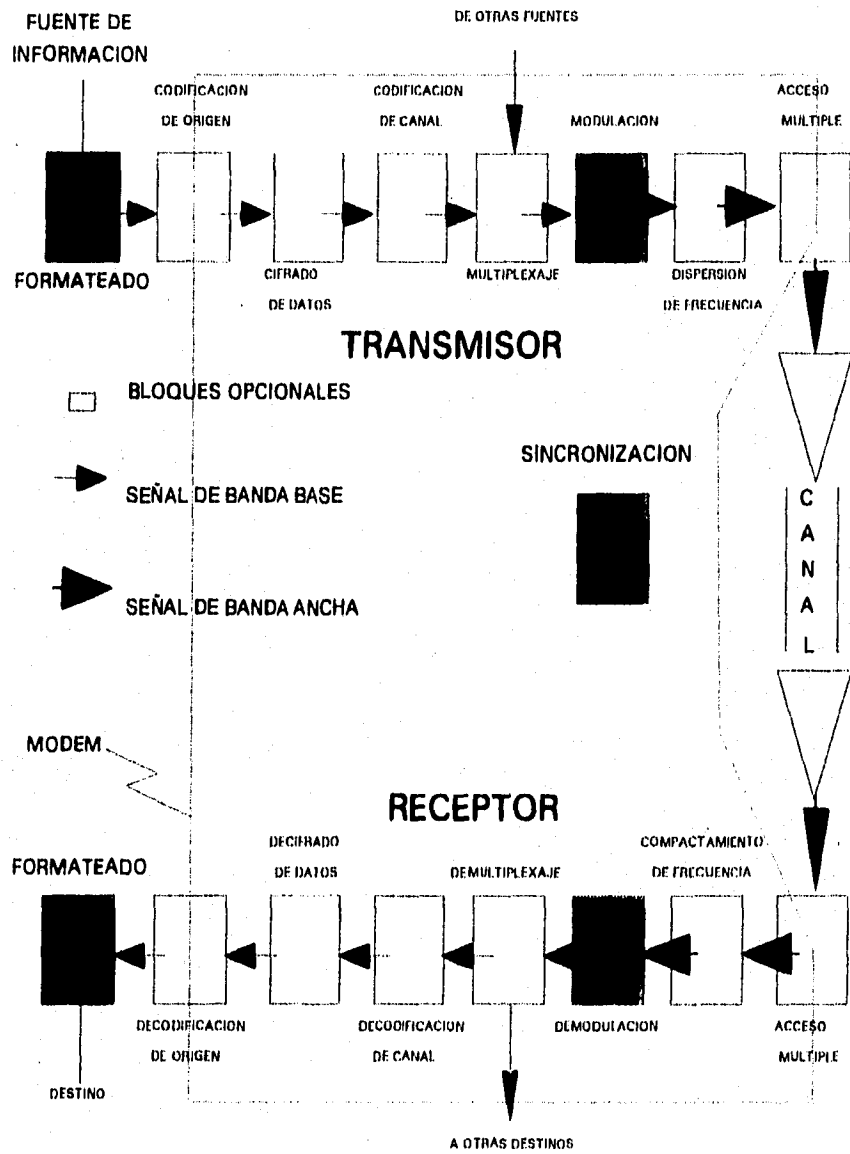


Fig. 1.12 Diagrama a bloques de un sistema de comunicación digital

De todas la funciones mostradas, las únicas que en un momento dado son imprescindibles en un sistema son las siguientes:

- * Formateado (transmisión y recepción)
- * Modulación
- * Demodulación
- * Sincronización

Originalmente, en los primeros sistemas, los únicos bloques que aparecían dentro de la línea punteada eran los de modulación y demodulación (de ahí el nombre de modem), sin embargo a través del tiempo se empezaron a incorporar otras funciones de procesamiento de señal, dentro del mismo equipo del modem, de manera que hoy día un modem por lo general contiene todas las funciones comprendidas dentro de la línea punteada.

En ocasiones las funciones representadas son llevadas a cabo en orden diferente al mostrado, por ejemplo, el multiplexaje puede efectuarse antes de la codificación de canal o de modulación.

La figura también nos muestra que el mensaje que viaja desde el bloque de formateado hasta el modulador, se conoce como señal de banda base y se compone de los bits que conforman la secuencia de los símbolos digitales, mientras que después de la modulación el mensaje se convierte en una forma de onda de banda ancha, de igual modo, en la dirección contraria (en el receptor) el mensaje recibido se presenta como una forma de onda ancha hasta que es demodulada, después de lo cual se convierte en flujo de bits.

En diversos puntos de la ruta de la señal, esta es alterada por ruido, de manera que en la recepción deberá ser tratada como una estimación de la señal original. Recuérdese que:

El objetivo de un sistema de comunicación digital, no es reproducir con precisión la forma de onda que fue transmitida, sino determinar a partir de una onda afectada hasta cierto grado por ruido, cual ha sido la forma de onda enviada por el transmisor.

Funciones del sistema

Las funciones de procesamiento de señal digital se pueden clasificar en siete grupos básicos como se puede ver en el diagrama a bloques:

- 1.- Formateado y codificación de origen (source coding)
- 2.- Encriptado o cifrado (Encryption)
- 3.- Codificación de canal
- 4.- Multiplexaje y acceso múltiple
- 5.- Modulación y demodulación
- 6.- Dispersión de frecuencia (spreading)
- 7.- Sincronización

1.- Formateado y codificación de origen

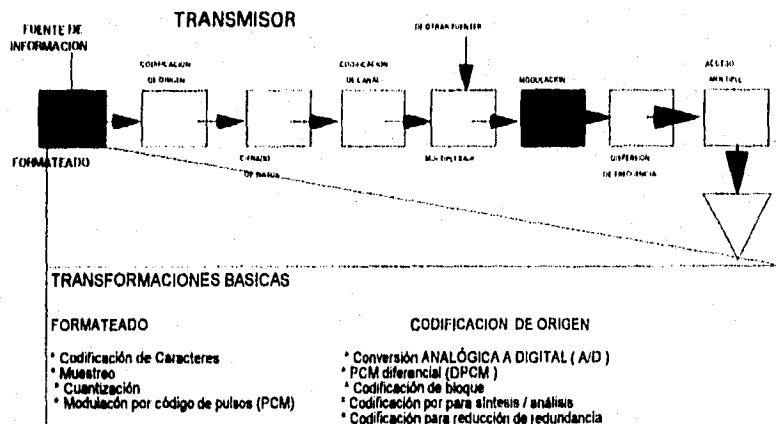


Fig. 1.13 Formateado y codificación de origen

* Mediante el formateado se transforma la información fuente o de origen en símbolos digitales.

* A través de la codificación de origen se selecciona el código o formas de onda adecuada para hacer que los símbolos digitales sean compatibles con los métodos de procesamiento de señal digital usada en sistemas.

2.- Encriptado o cifrado (Encryption)

Este proceso permite lograr los siguientes objetivos:

* **Privacidad:** Evitando que personas no autorizadas puedan extraer información del canal

* **Autenticidad (authentication):** Evitando que personas no autorizadas inyecten o introduzcan información ajena al canal.

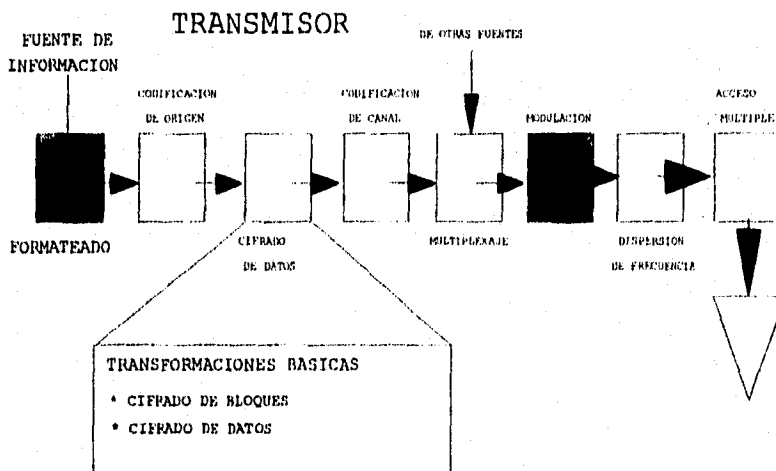


Fig. 1.14 Encriptado o cifrado

3.- Codificación de canal

Mediante este proceso se logra que las señales digitales menos vulnerable al ruido, desvanecimiento, etc. Obteniéndose por lo tanto:

- * Reducción de la probabilidad de error (PE)
- * Reducción de los requerimientos de razón señal a ruido (SNR) del sistema

Nota: Estas mejoras en el desempeño del sistema se logran sacrificando ancho de banda o aumentando la complejidad del decodificador.

De igual manera, a través de la codificación de canal es posible reducir los requerimientos de ancho de banda, a expensas de sacrificar el desempeño del SNR o del PE.

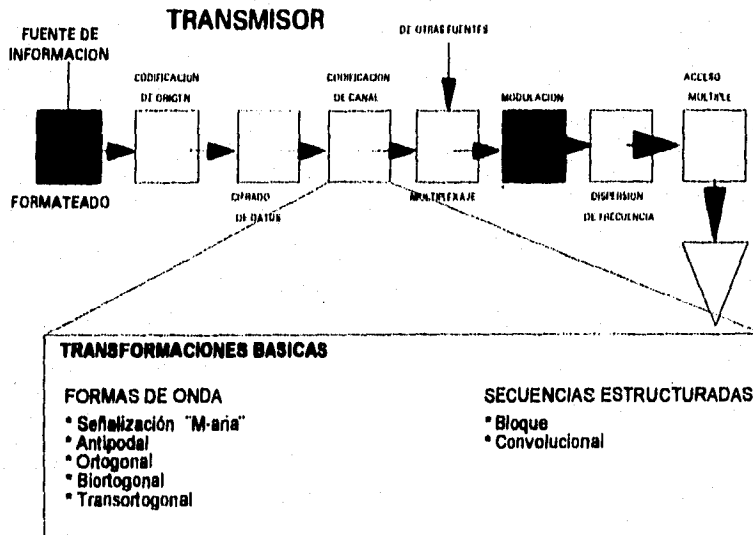


Fig. 1.15 Codificación de canal

La codificación de forma de onda involucra el uso de nuevas formas de onda que mejoran el desempeño del proceso de detección.

En las secuencias estructuradas se utilizan bits de redundancia que permiten la detección de errores debido a ruido de canal, ejemplo de estas técnicas es la solicitud de repetición automática o ARQ (automatic repeat request) en el cual se solicita la transmisión de los mensajes que se hayan detectado con error.

4.- Multiplexaje y acceso múltiple

Estos procesos permiten la combinación de señales provenientes de diferentes orígenes o que tengan características diferentes, de manera que puedan compartir el sistema de comunicación.

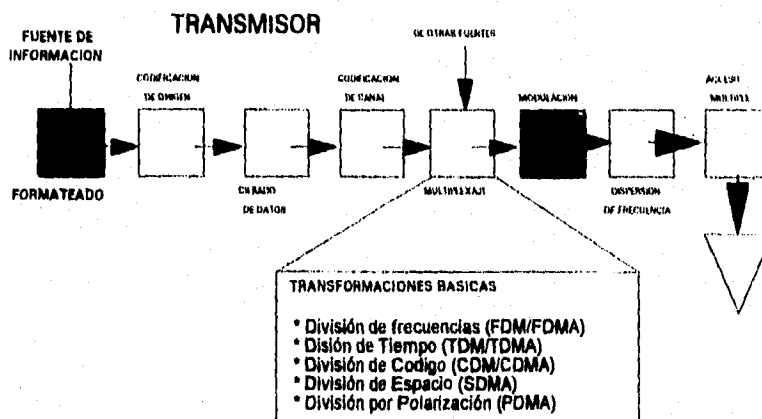


Fig. 1.16 Multiplexaje y acceso múltiple

Multiplexaje

- Se lleva a cabo en forma local (ya sea a nivel de tarjeta, de equipo o de lugar)
- Involucra algoritmos conocidos de antemano (a priori)
- Generalmente se implementa en hardware

Acceso multiple

- Se realiza en forma remota (ejemplo: transponder satelitales)
- Involucra por lo general algoritmos adaptivos
- Generalmente se requiere el uso de señal de control conocido como "overhead"

5.- MODULACION Y DEMODULACION

Modulación es el proceso mediante el cual los símbolos digitales son convertidos en formas de onda compatible con el canal de transmisión. En el caso de la comunicación digital, esta modulación es del tipo banda base

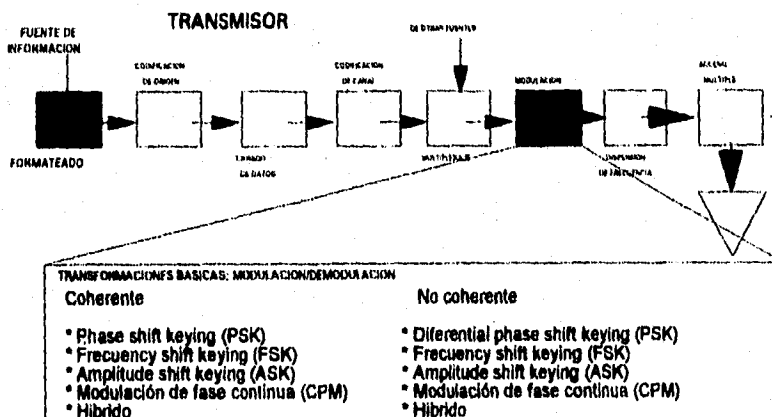


Fig. 1.17 Modulación y demodulación

La demodulación se refiere a la detección de la información de banda base, y por lo general se lleva a cabo mediante el uso de formas de onda de referencia.

Cuando las referencias contienen todos los atributos de la señal en especial la información de fase, el proceso recibe el nombre de coherente, mientras que si la información de fase se desconoce, entonces se denomina no-coherente.

6.- DISPERSION DE FRECUENCIA ("SPREADING")

Este proceso es ampliamente usado en los sistemas militares; mediante el mismo se producen señales que son menos vulnerables a interferencias naturales o intencionales, incrementándose la seguridad y privacidad de la comunicación.

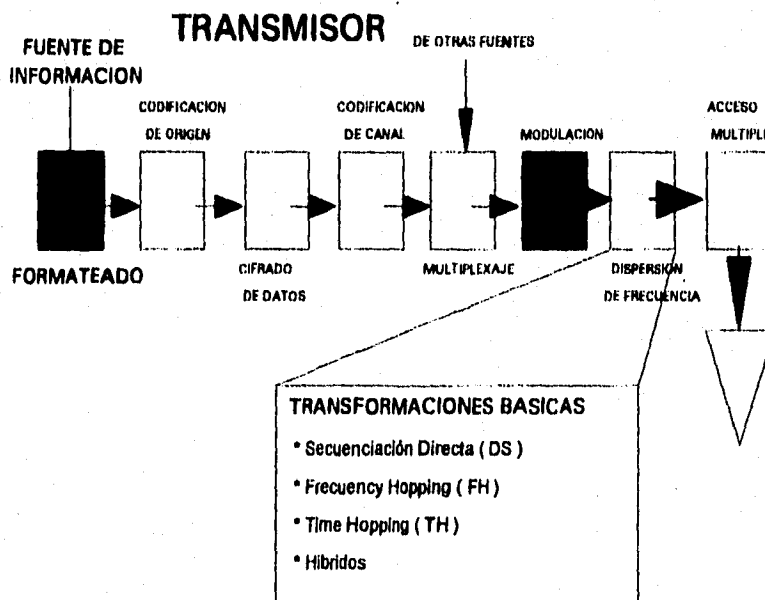


Fig. 1.18 Dispersión de frecuencia

7.- SINCRONIZACION

La sincronización en comunicación digital involucra tanto el parámetro de tiempo como de frecuencia; entre las características o requerimientos de sincronización de los sistemas digitales, se encuentran los siguientes:

- * Los sistemas coherentes necesitan sincronizar su referencia con la portadora tanto en frecuencia como en fase.
- * Para los sistemas no-coherentes la sincronización de fase no es necesaria
- * El proceso fundamental de sincronización es la sincronización a nivel de símbolo, ya que el demodulador necesita saber cuándo empezar y terminar el proceso de detección de símbolo
- * El siguiente nivel de sincronización es a nivel de trama de información; con esto se logra la reconstrucción del mensaje completo
- * La sincronización a nivel de red permite la coordinación de múltiples usuarios, incrementando la eficiencia de la misma

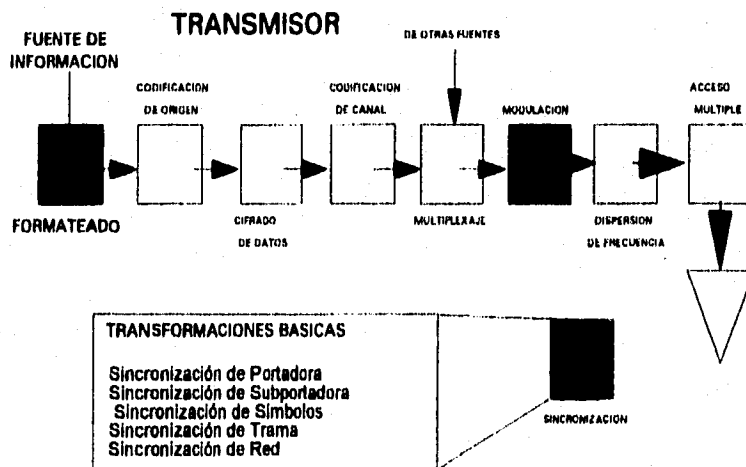


Fig. 1,18 Sincronización

1.6 DEFINICIONES BASICAS

FUENTE DE INFORMACION

Dispositivos que produce u origina la información, ya sea analogica o discreta.

Fuente de información analógica

- La amplitud de salida puede tener cualquier valor dentro de un rango continuo
- Puede ser transformada en digital mediante técnicas de muestreo y cuantización

Fuente de información digital

- La amplitud de salida tiene un numero finito de posibles valores

MENSAJE TEXTUAL

Secuencia de caracteres . Para la transmisión digital el mensaje es representado por una secuencia de dígitos o símbolos tomados de un alfabeto o conjunto finito de símbolos.

Carácter

Miembro integrante de un conjunto de símbolos o alfabeto. Los caracteres pueden ser representados por una secuencia de dígitos binarios, de acuerdo a un código. Algunos códigos de caracteres son:

* ASCII (American Standar Code For Information Interchange).

Código estandar americano para el intercambio de información

DIGITO BINARIO (Bit)

Unidad fundamental de información para los sistemas digitales.

SECUENCIA DE BITS (bit stream)

Flujo de dígitos binarios ("unos" y "ceros") representados mediante un tren de pulsos denominado comúnmente señal de banda base debido a que su contenido espectral se extiende desde DC (0 Hz) hasta cierto valor de frecuencia.

SÍMBOLO

Grupo de bits considerando como una unidad o carácter perteneciente a un conjunto finito de símbolos o alfabeto. Los símbolos se representan como formas de onda para su transmisión, y el hecho de que dicho conjunto sea finito representa la diferencia fundamental entre un sistema de comunicación digital y uno analógico, ya que en el caso del primero el receptor solamente debe decidir cuál fue la forma de onda transmitida de entre un número determinado de ellas, mientras que en los sistemas analógicos el receptor deberá ser capaz de detectar con exactitud un rango continuo de formas de onda.

El tamaño del alfabeto (es decir, el número total de símbolos que lo componen) depende de la cantidad de bits que se utilicen para representar un símbolo de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$M = 2^k$$

M = número de símbolos de alfabeto

k = número de bits usados para representar un símbolo

2.- LAS SEÑALES Y SU ESPECTRO

2.1.- CLASIFICACION DE LAS SEÑALES

Existen diferentes maneras o criterios para clasificar una señal:

A.- De acuerdo al grado de certeza con que se puede determinar su valor para cualquier momento en el tiempo.

• **Señales determinísticas:** no existe incertidumbre alguna con respecto a su valor en cualquier momento en el tiempo.

• **Señales aleatorias:** existe un cierto grado de incertidumbre para determinar su valor antes de que en realidad suceda.

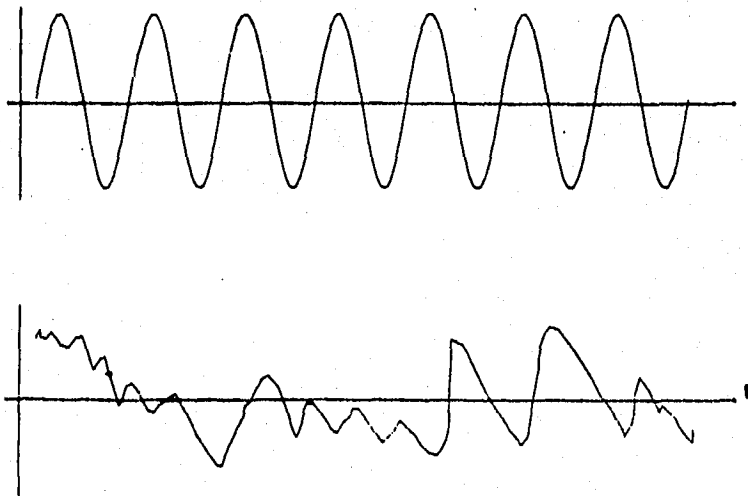


Fig. 2.1 Señales determinísticas y aleatorias

B) De acuerdo a su comportamiento con respecto al tiempo.

• **Señales periódicas:** cierta forma de onda que abarca un periodo de tiempo determinado.

• **Señales no periódicas:** no existe una forma de onda que se repita constantemente

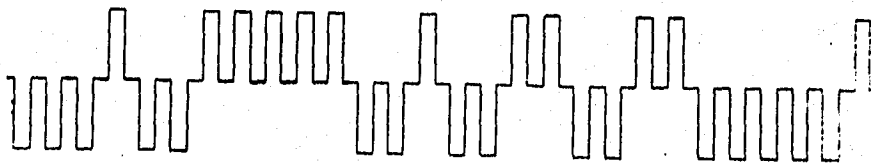
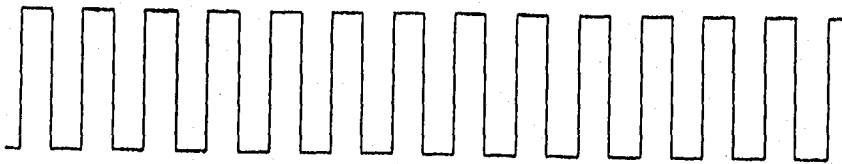


Fig. 2.2 Señales periódicas y no periódicas

C) De acuerdo a su continuidad con respecto al tiempo:

• **Señales analógicas:** varían en forma continua en el tiempo; es decir, tienen un valor definido para cualquier momento.

• **Señales discretas:** su valor está definido solo para determinados instantes en el tiempo.

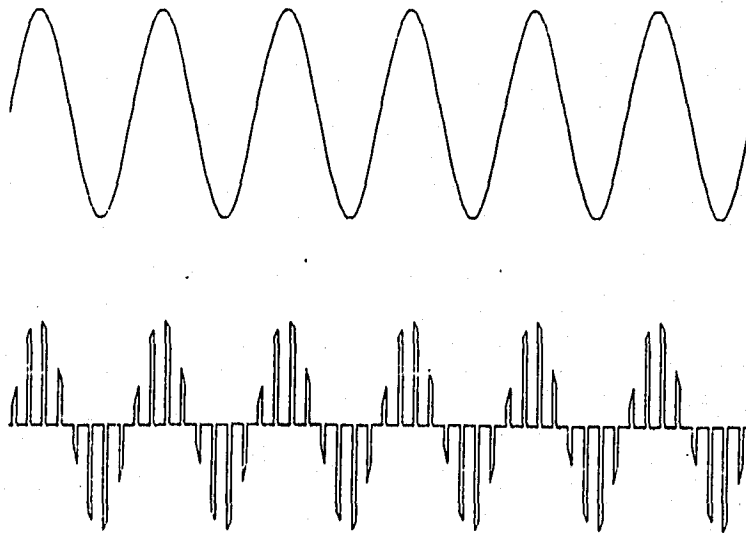


Fig. 2.3 Señales analógicas y discretas

D) Las señales de comunicación eléctricas pueden ser representadas de diferentes formas para su análisis, las dos maneras más comunes de representarla son las siguientes:

*** Dominio en el tiempo:** representándolas como formas de onda de corriente o voltaje que cambian con respecto al tiempo.

*** Dominio de la frecuencia:** representándolas de acuerdo a la energía que contienen las señales en diferentes frecuencias, esta representación comúnmente se denomina como espectro de una señal y sirve para determinar el ancho de banda que ocupa dicha señal.

Las técnicas de Fourier nos permiten el análisis tanto de las señales como de los

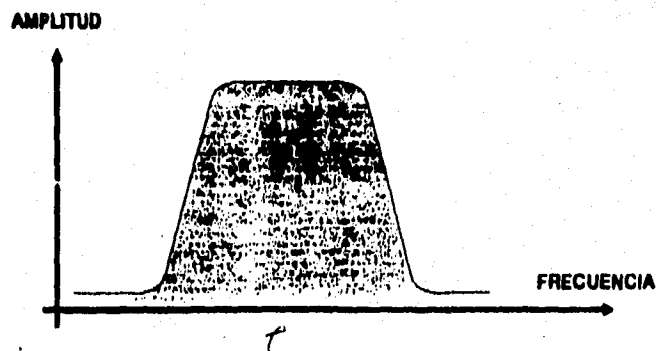
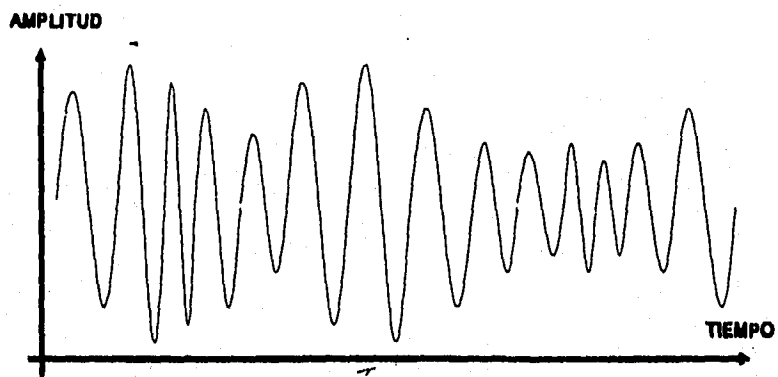


Fig. 2.4 Representación de las señales

sistemas en el dominio de la frecuencia, este concepto es de gran importancia ya que nos permite, entre otras cosas asegurar que nuestras señales de comunicación estén confinadas a determinados límites espectrales, por ejemplo el ancho de banda que ocupa un canal de televisión deberá ser de 6 Mhz.

La descripción de una señal mediante su espectro significa que se está caracterizando a esta señal especificando su amplitud y su fase como funciones de frecuencia.

En el caso de tratarse de un circuito o sistema, sus atributos espectrales se refieren a su función de transferencia en el dominio de la frecuencia, o en otras palabras, se caracteriza al circuito de acuerdo a la cantidad de espectro que permite pasar de una señal específica de entrada.

2.2 SISTEMAS LINEALES

Las técnicas de Fourier son utilizadas muy a menudo para analizar sistemas lineales de las siguientes maneras:

- * Prediciendo la respuesta del sistema.
- * Determinando la función de transferencia del sistema.
- * Evaluando o interpretando resultados.

La figura 2.5 muestra una señal periódica siendo aplicada a un sistema lineal, las técnicas de Fourier nos permiten describir dicha señal como una sumatoria de ondas senoidales conocidas como:

- * **Onda fundamental**: su frecuencia es exactamente la misma que la de la onda original.
- * **Armónicas**: sus frecuencias son múltiplos exactos de la frecuencia fundamental.

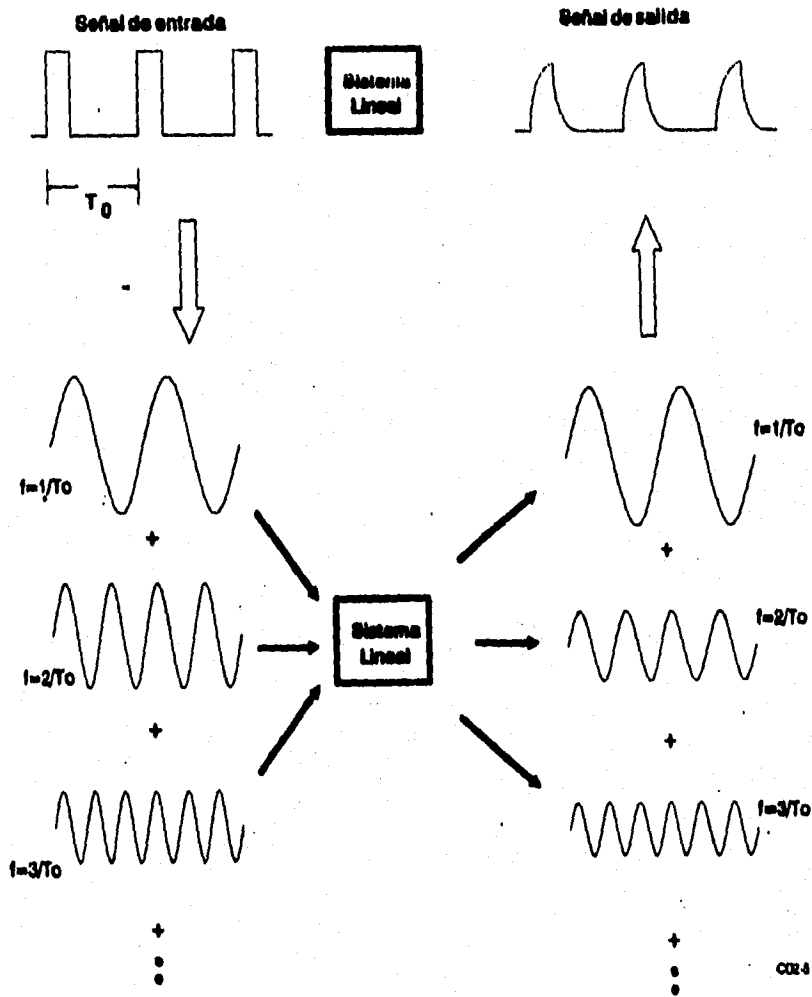


Fig. 2.5 Predicción de la respuesta de un sistema

Lo importante de este caso es que la respuesta del sistema lineal a esa suma de señales de entrada es precisamente la suma de respuestas individuales para cada una de aquellas señales (esta es de hecho la definición de un sistema lineal).

FUNCION DE TRANSFERENCIA

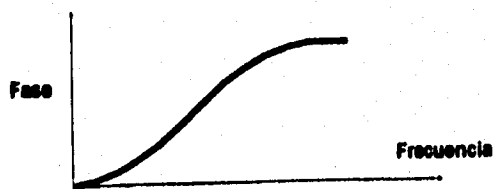
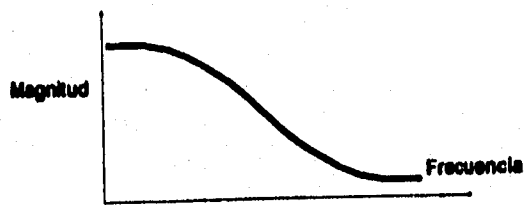
La función de transferencia de un sistema es la relación entre la señal de salida y la señal de entrada, especificando el comportamiento del sistema en cuanto a los efectos que tienen sobre la magnitud y la fase de la señal de entrada.

La siguiente figura muestra la representación gráfica de la función de transferencia de un sistema en el dominio de la frecuencia.

Debido a que la función de transferencia describe la respuesta de l sistema a cada una de los componentes senoidales, es posible predecir cada uno de los componentes de la salida resultantes y de este modo por superposición sumar dichas respuestas individuales para

obtener la respuesta la respuesta total, en forma recíproca, es posible también determinar la función de transferencia o evaluar el comportamiento de un sistema a partir de las formas de onda de entrada y salida (este es el principio de un analizador de red).

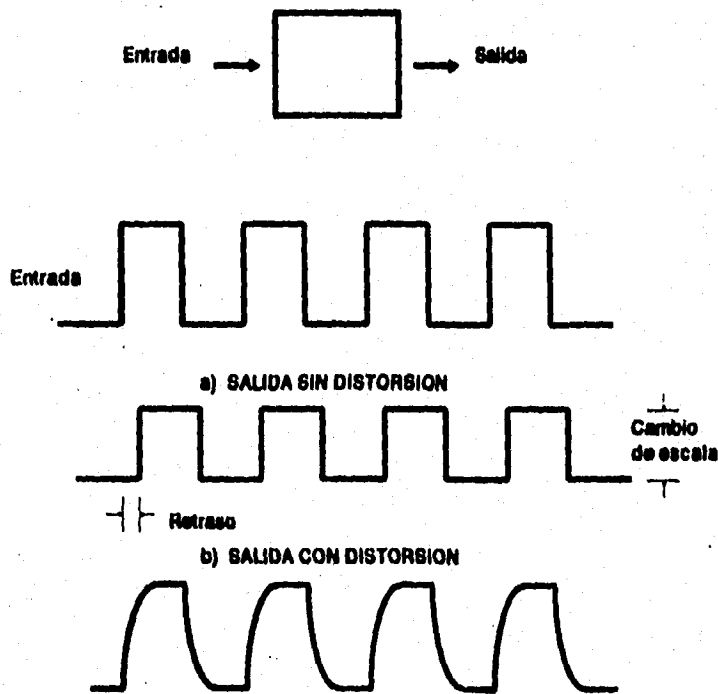
El desarrollo de las técnicas de Fourier ha tenido un gran impacto en el análisis de los sistemas lineales, ya que permite el uso de métodos de análisis para ondas senoidales aplicados a formas de onda mas complejas; es decir, sus uso tiene un efecto en cuanto a reducción de complejidad de análisis similar al uso de logaritmos para llevar a cabo procesos multiplicativos mediante simples sumas.



2.6 Fig. Función de transferencia

DISTORSION EN LA TRANSMISION

El termino distorsión de una señal, producida por un sistema, se refiere al cambio de forma de dicha señal al pasar a través del sistema.



CD-7

Fig. 2.7 Transmisión de una señal a través de un sistema

Dado que la forma de onda de la señal es la característica en cuestión, factores como son un cambio en la escala de la amplitud de salida con respecto a la entrada o un retraso constante de la señal de salida, se considera sin relevancia se puede entonces decir que para lograr una transmisión sin distorsión la respuesta del sistema en el dominio de la frecuencia deberá presentar las siguientes características.

- La respuesta a la magnitud deberá ser constante
- El retraso de salida ("time delay") deberá ser al mismo para todas las frecuencias componentes de la señal de entrada.

Nota: este hecho implica que el sistema cambia la fase de la señal de entrada se expresa de la siguiente manera:

$$\text{RETRASO } T_0(\text{SEG}) = \text{CAMBIO DE FASE}(\text{RADIANES})/2\pi \cdot \text{FRECUENCIA}(\text{RADIANES/SEG.})$$

$$\text{O UTILIZANDO GRADOS EN LUGAR DE RADIANES: } (180^\circ = \pi \text{ RADIANES})$$

$$T_0(\text{SEG}) = \text{CAMBIO DE FASE}(\text{GRADOS}) / 360^\circ \cdot \text{FRECUENCIA}(\text{CICLOS/SEG.})$$

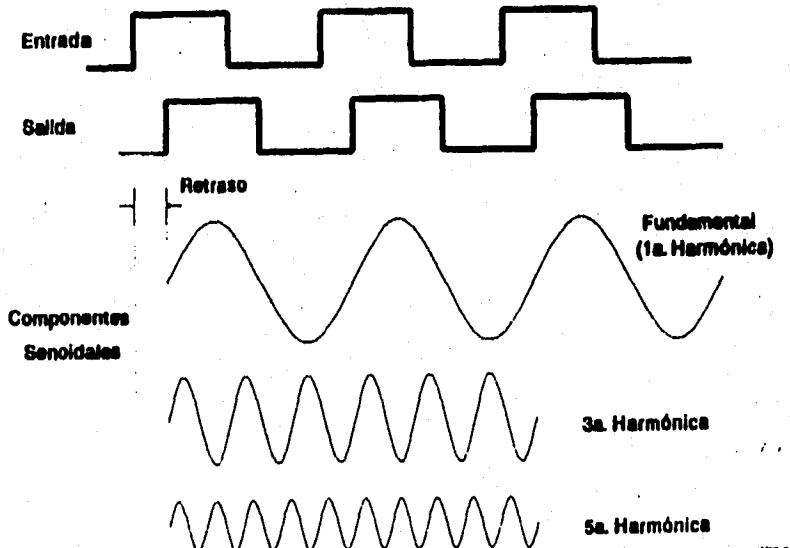


Fig. 2.8 Retraso de salida de un sistema

FILTROS

Para visualizar mejor los efectos que un sistema tiene sobre las señales que se aplican, es necesario analizar un poco los conceptos relacionados con los filtros.

En primer lugar, consideremos que el ancho de banda de un sistema es el intervalo de frecuencia a través del cual la magnitud de la respuesta permanece dentro de un rango de valores determinado. Una red cualquiera tiene efectos de filtraje (en mayor o menor grado) sobre las señales que pasan a través de ella.

De acuerdo con su función de transferencia, los filtros se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Pasa bajas:** permite el paso de frecuencias desde DC hasta un valor específico a partir del cual la magnitud de respuesta comienza a decrecer.
- **Pasa altas:** permite el paso de frecuencias a partir de cierto valor en adelante
- **Pasa banda:** permite el paso de frecuencias dentro de una banda determinada.

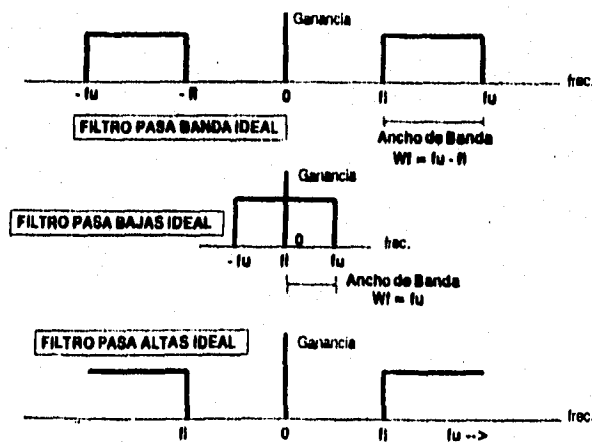


Fig. 2.8 Función de transferencia de un filtro

En la práctica el ejemplo mas simple de un filtro pasa bajas se compone de una resistencia y un condensador, el ancho de banda de este filtro pasa bajas se define a la cual el nivel de potencia de la señal ha caído por debajo de la mitad de su valor pico; en caso de referirse al voltaje de salida, este habrá caído a 0.7071 de su valor pico, este punto en la frecuencia que determina el ancho de banda generalmente es expresado en decibels (dB).

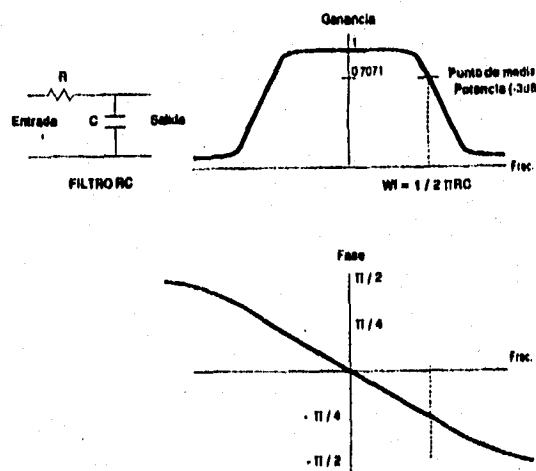


Fig. 2.10 Filtro RC pasa bajas y su función

Un decibel (dB) esta definido como la relación o razón entre dos niveles de potencia existente en dos puntos.

$$(GANACIA O PERDIDA EN dB = 10 \text{ LOG } P2/P1)$$

* Si el resultado es positivo se puede decir que existe una ganancia de potencia si es negativo será entonces una perdida.

Esta relación se puede expresar también entre dos niveles de voltaje

$$(GANACIA O PERDIDA EN dB = 20 \text{ LOG } V2/V1)$$

2.3 SERIES DE FOURIER

Son la representación matemática de una señal periódica en términos de sus componentes. De esta manera es posible calcular el contenido espectral de cualquier señal periódica, la figura 2.11 nos muestra el espectro de un tren de pulsos y los parámetros asociados con el mismo. Algunas observaciones importantes sobre esta figura son las siguientes:

- * A partir del espectro de magnitud se considera al punto $1/T_0$ como el ancho de banda de la señal (medido en Hz).
- * El ancho de banda es inversamente proporcional a la anchura de pulso.
- * El espaciamento entre líneas espectrales también, es inversamente proporcional a la anchura del pulso.

Un parámetro importante en la caracterización de un filtro pasa bajas es el llamado factor de forma, el cual se puede interpretar como el grado de aproximación con que la respuesta del filtro se acerca a la respuesta de un filtro ideal.

Por definición, el factor de forma es la razón entre los anchos de banda de un filtro tomados en los puntos de -60 dB y -6 dB de su respuesta de magnitud o amplitud.

La respuesta de magnitud se acercara mas a la de un filtro ideal entre mas bajo sea el factor de forma. La reducción de dicho factor se logra incrementando el numero de elementos componentes del filtro (condensadores y bobinas), pudiéndose obtener factores de forma tan bajos como 2 (comparativamente, el factor de forma del filtro RC de la figura 2.10 es de cerca de 600)

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

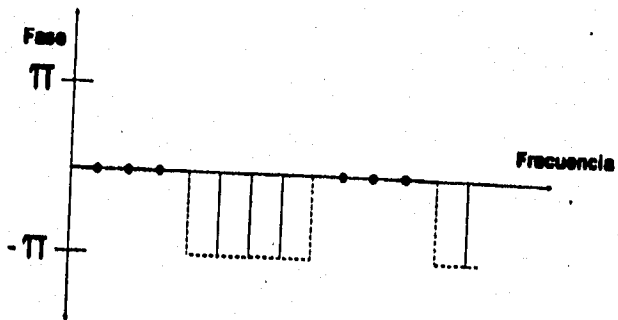
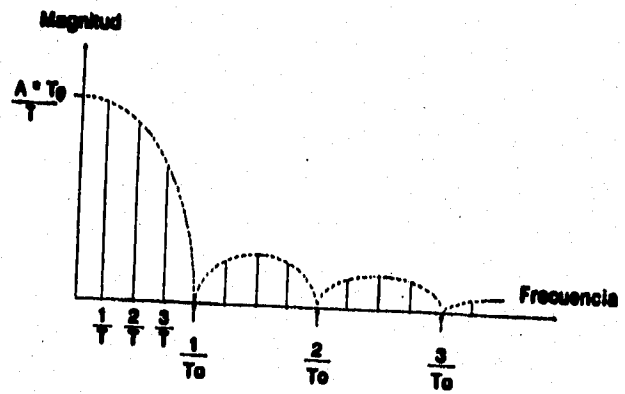
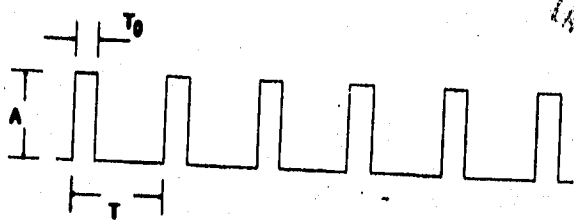


Fig. 2.11 Espectro de un tren de pulsos

SEÑALES DE BANDA BASE Y MODULADAS

Una de las técnicas más sencillas utilizadas para trasladar el espectro de una señal de banda base hacia una frecuencia más alta es mediante el proceso de heterodinación que consiste en la mezcla de dicha señal con otra de tipo senoidal llamada portadora mediante un proceso multiplicativo.

La forma de onda resultante se conoce como señal modulada de doble banda lateral o DSB (double-side band) y su espectro se ilustra en la figura 2.12

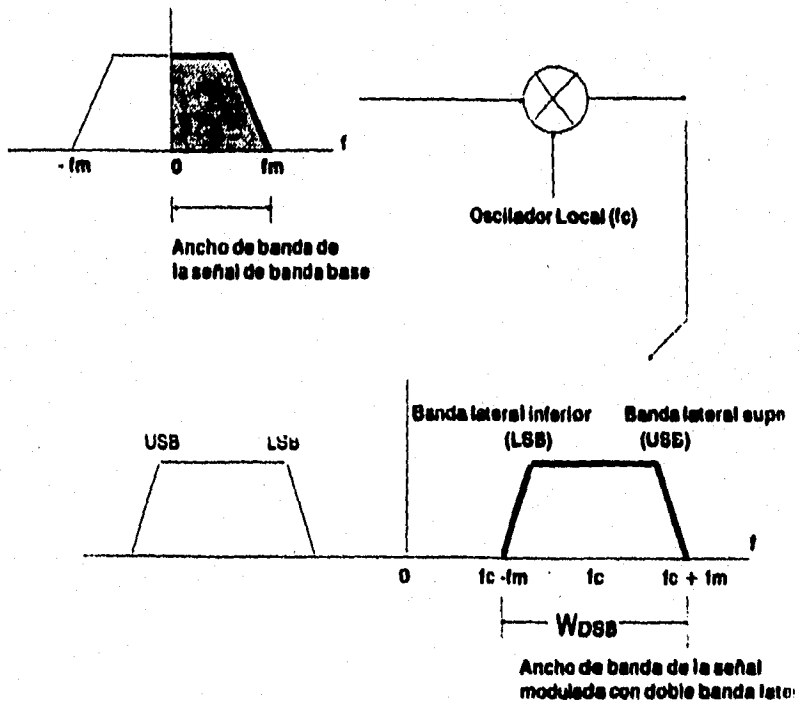
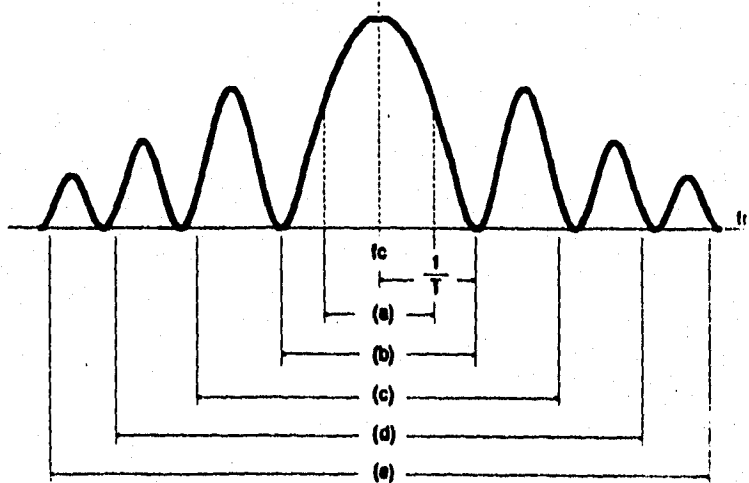


Fig. 2.12 Señal modulada de doble banda lateral

ANCHO DE BANDA DE UNA SEÑAL DIGITAL

De igual manera que cuando hablamos de un filtro se utilizan criterios como el del punto de -3dB en su espectro para definir su ancho de banda, al referirnos a una señal digital existen algunos criterios que dependiendo de la aplicación definen su ancho de banda.

La figura 2.14 nos muestra la representación general del espectro de una señal digital y los criterios usados para especificar su ancho de banda, de los cuales el criterio (b) es el que generalmente se emplea.



- a) Punto de potencia espectral media (-3 dB)
- b) Anchura del lóbulo principal
- c) Punto de 99% de potencia espectral
- d) Punto de 35 dB (a esta frecuencia la señal es 35 dB menos potente que el nivel máximo)
- e) Punto de 50 dB

Fig. 2.13 Ancho de banda de una señal digital

El hecho de que tanto las señales como las funciones de transferencia de los sistemas se pueden describir en términos de sus características espectrales, resulta de gran utilidad para conocer el efecto que un sistema puede tener con relación a las señales.

La figura 2.14 nos muestra en forma aproximada los efectos que la función de transferencia de un sistema tiene sobre el espectro de una señal que pasa a través del mismo.

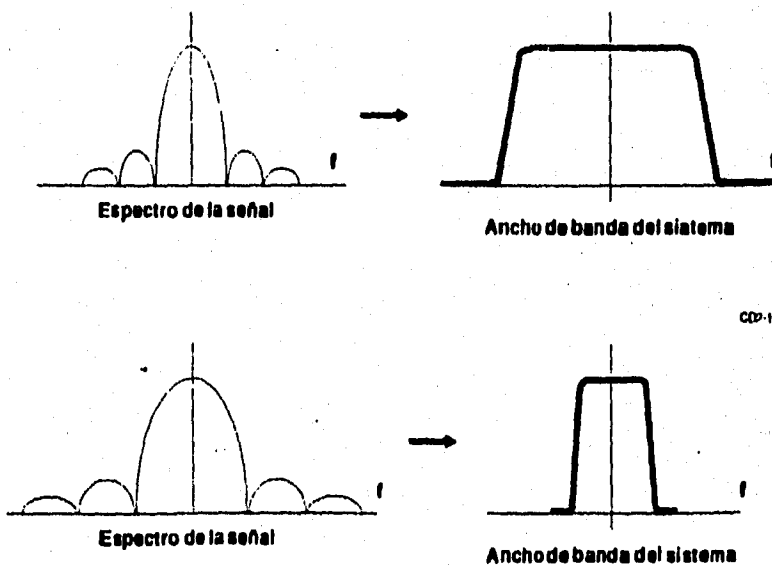


Fig. 2.14 Efectos de los sistemas sobre las señales

Al hablar en el dominio del tiempo y refiriéndonos a la transmisión de señal digital en banda base, los efectos que un sistema puede tener sobre dicha señal se ilustra en la figura 2.15

En el caso de los sistemas de comunicación digital hay que recordar que el receptor solamente tiene que ser capaz de reconocer que la señal tiene uno de sus dos posibles estados, de manera que la respuesta obtenida en el caso (b) caracteriza la forma de funcionamiento de estos sistemas; es decir, no es necesario mantener una alta fidelidad de señal para poder funcionar correctamente.

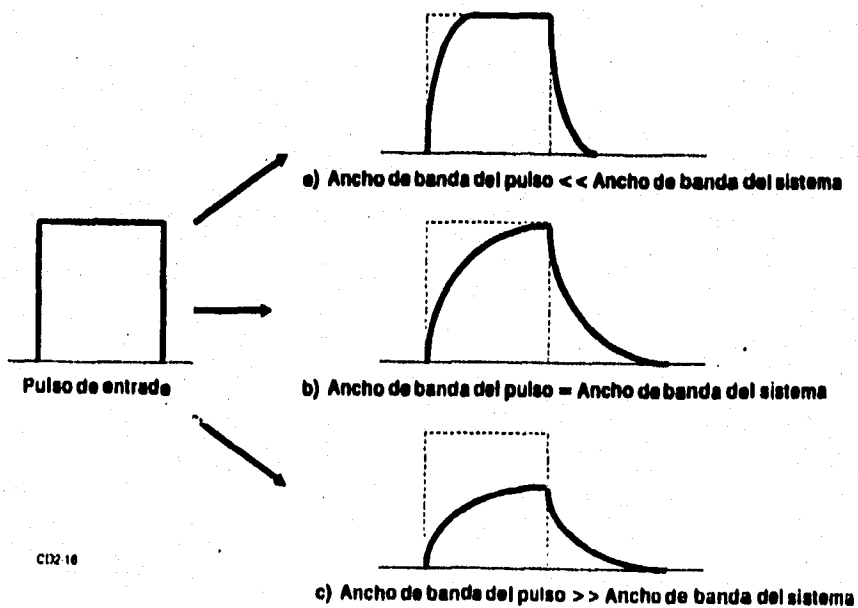
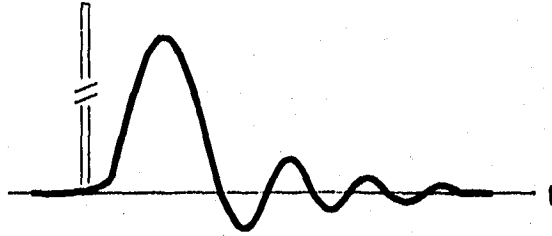


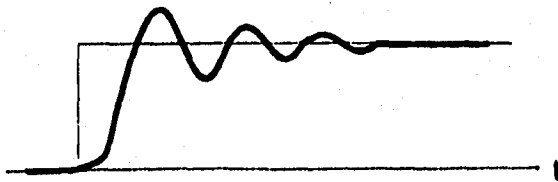
Fig. 2.15 Ejemplos de filtraje de un pulso

Dentro del contexto del dominio del tiempo, existen dos criterios que se utilizan muy a menudo para caracterizar la respuesta de un sistema, especialmente si se trata de filtros:

* **FUNCION IMPULSO:** Describe el comportamiento de un filtro o sistema a una excitación de tipo impulso (pulso de muy pequeña duración y gran amplitud).



* **FUNCION ESCALON:** Describe el comportamiento de un filtro o sistema a una excitación de tipo escalón (cambio brusco del nivel de la señal de entrada a un nuevo nivel que se mantiene por largo tiempo).



2.4 EL RUIDO EN LOS SISTEMAS DE COMUNICACION

El termino ruido se refiere a aquellas señales eléctricas indeseables que se encuentran presentes en cualquier sistema eléctrico.

La presencia de ruido en un sistema tiene efectos como los siguientes:

- * Degradar la calidad de las señales en el sistema.
- * Limitar la habilidad del receptor para identificar correctamente los simbolos de información.
- * Limitar la velocidad de transferencia de información.

Existe una gran variedad de fuentes de ruido. Tanto de origen natural como producidas por el hombre; algunos ejemplos son los siguientes:

FUENTES PRODUCTORAS DE RUIDO:

- * Bujías
- * Maquinaria eléctrica.
- * Interruptores.

FUENTES DE RUIDO NATURAL

- * Ruido térmico intrínseco de los componentes eléctricos
- * Perturbaciones atmosféricas.
- * Ruido galáctico.

Algunas técnicas para disminuir los efectos del ruido son:

- Filtrado.
- Blindaje.
- Tipo de modulación
- Selección de lugares óptimos para la ubicación de receptores (por ejemplo Observatorios Radioastronómicos).