



128  
24

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

**COMUNICACIONES.  
TECNICAS DE TRANSMISION**

**TRABAJO DE SEMINARIO  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A :  
ALEJANDRO SUAREZ ZAMBRANO**

**ASESOR:  
ING. JUAN GONZALEZ VEGA**

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO**

**1996**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**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  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
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-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Comunicaciones.

Técnicas de transmisión.

que presenta el pasante: Suárez Zambrano Alejandro,  
con número de cuenta: 8733277-1 para obtener el Título de:  
Ingeniero Mecánico Electricista.

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

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, a 21 de Febrero de 19 96.

MODULO:	PROFESOR:	FIRMA:
<u>I</u>	<u>Ing. Alfonso Contreras</u>	<u>M. Contreras</u>
<u>II</u>	<u>Ing. Juan Gonzalez V.</u>	<u>[Firma]</u>
<u>IV</u>	<u>Ing. Joel Sánchez P.</u>	<u>[Firma]</u>

DEP/VOBSEM

Doy gracias a Dios por haber terminado con mis estudios profesionales.

A la UNAM por haber permitido mi formación académica profesional.

A mis maestros por su paciencia y dedicación al transmitirme sus conocimientos

Al Ing. Juan González Vega. por su apoyo brindado en el desarrollo del presente trabajo.

A mis padres y hermanos.

Gracias les doy muy sinceramente por todo el apoyo brindado y por sus consejos: especialmente a mi Madre Tere Zambrano ya que siempre creyó en mí y no vaciló en tenderme su mano y su ayuda en los momentos más difíciles de mi carrera, impulsándome como sólo ella lo sabe hacer, para que yo continuara con mis estudios hasta el final. También a mi Padre Cosme Suárez que me ayudó en muchos otros aspectos, al igual que mis hermanos: Gerardo, Arturo, Rubén, Rocío y su esposo Miguel C., complementándose así el apoyo necesario para que el día de hoy vea culminada una de mis grandes metas, que será pilar principal en mi futuro desarrollo como profesionalista y persona, siendo así una herencia invaluable que nadie más pudiera darme. Le agradezco también a Maribel Cervantes.

Con admiración y respeto, muchas gracias.

**TECNICAS**

**DE**

**TRANSMISION**

# INDICE

<b>INTRODUCCION</b>	1
<b>1.-CONCEPTOS GENERALES</b>	3
<b>2.-TRANSMISION ANALOGICA</b>	7
2.1.-Muestreo natural	9
2.2.-Muestreo instantáneo	11
2.3.-Cuantización de amplitud	16
2.4.-Codificación	17
2.5.-Multiplexación por división de frecuencias	18
2.6.-Multiplexación por división de tiempo	18
<b>3.-TRANSMISION DIGITAL</b>	20
3.1.-Sistemas PCM	21
3.2.-Códigos	22
3.3.-Interferencia intersimbólica	23
3.4.-Modulación	24
3.4.1.-PSK	25
3.4.2.-FSK	27
3.4.3.-ASK	27
3.5.-Probabilidad de error	28
3.6.-Sincronización	29
3.6.1.-De portadora	30
3.6.2.-De símbolo	31
3.6.3.-De trama	31
<b>4.-ACCESO MULTIPLE</b>	32
4.1.-Acceso múltiple por división de frecuencias	32
4.1.1.-Acceso múltiple con asignación por demanda	34
4.2.-Acceso múltiple por división de tiempo	35
4.3.-Acceso múltiple por diferenciación de código	38
<b>CONCLUSIONES</b>	41
<b>GLOSARIO</b>	42
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	45

# INTRODUCCION

Las comunicaciones siempre han sido muy importantes en todos los aspectos ya que actualmente se pueden mantener conversaciones entre personas por muy lejos que éstas se encuentren.

Hasta hace apenas unos años, la gran mayoría de los sistemas de comunicaciones eran de naturaleza analógica; sin embargo, la comunicación de tipo digital ha venido cobrando una gran importancia por razones como son la creciente demanda de comunicaciones de datos y el hecho de que la transmisión digital ofrece una flexibilidad para el procesamiento de datos muy superior a la transmisión analógica.

Actualmente con el uso de los satélites, las señales de comunicación, ya sea de telefonía, televisión o información digital, han tenido un crecimiento y un auge sin precedentes.

Todo satélite es un nodo o punto intermedio de la red de comunicaciones de la que forma parte, funciona como un simple repetidor en el espacio exterior y se complementa con las estaciones terrenas que se comunican a través de él.

Una estación terrena consiste en una serie de equipos interconectados entre sí, como lo son un transmisor, un receptor, antena y equipo de rastreo, siendo la antena el más conocido y representativo de todos; pero dependiendo de la aplicación particular, algunas estaciones son más sencillas y carecen de alguno de los equipos mencionados, como lo son las estaciones caseras que sólo tienen un receptor y la antena. A diferencia de las estaciones de comunicaciones internacionales que son más complejas y además tienen equipo redundante y en algunos casos cuando satisfacen necesidades prioritarias de comunicación se requiere que no dejen de funcionar por alguna posible falla o falta de energía eléctrica, por lo que se les instala y adapta su propia planta de energía eléctrica de

emergencia que sirve de respaldo, por lo que se le denomina sistema ininterrumpido de energía.

Además del hecho de que por lo general los componentes digitales son de menor costo que los analógicos, existen otras razones que quizás son más importantes, por lo que los sistemas de comunicaciones tanto de tipo militar como comercial se estén basando cada vez más en la tecnología digital.

La diferencia o característica principal de un sistema de comunicación digital comparado con un sistema analógico es que en el primero se transmite una forma de onda determinada, de entre un número finito de formas de onda posibles, mientras que en el caso de la comunicación analógica el número de formas de onda posibles es en teoría infinito.

Bajo éste concepto, es importante establecer entonces 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 señal afectada hasta cierto grado por ruido, cuál ha sido la forma de onda enviada por el transmisor, de entre ese conjunto finito de formas de onda posibles.

Dentro de las principales ventajas que presenta un sistema de comunicación digital se encuentran las siguientes:

Mayor confiabilidad, mayor facilidad de regeneración de las señales, más alto desempeño, gran flexibilidad, facilidad para la implementación de nuevas aplicaciones y su simplicidad para combinar señales, entre otras. Y dentro de sus pocas desventajas de los sistemas digitales están en que requieren generalmente un mayor ancho de banda y que se requiere de sincronización del sistema.

## CONCEPTOS GENERALES

Las señales de comunicaciones (telefonía, televisión e información digital) recibidas por el satélite entran a él a través de sus antenas, y ellas mismas se encargan de retransmitir toda esa información hacia la tierra, después de haberla procesado debidamente. Lo primero que se hace en el proceso son amplificar las señales a un nivel de potencia adecuado, para que puedan ser recibidas a su regreso con buena calidad, así como cambiarlas de frecuencia, para que salgan por el conjunto de antenas sin interferir con las señales que en ese momento llegan simultáneamente. A la trayectoria completa de cada repetidor, comprendiendo todos sus equipos desde la salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora se le da el nombre de **transpondedor**, el subsistema de comunicaciones consta de muchos transpondedores, y su número depende del diseño del satélite.

La señal proveniente de la tierra que entra por la antena receptora puede contener muchos canales de televisión, o miles de canales telefónicos o de datos, todos ellos enviados en frecuencias diferentes; el rango de frecuencias que hay entre la frecuencia más baja y la frecuencia más alta de las que se transmiten se le denomina **ancho de banda**. Cuanto mayor sea el ancho de banda de un equipo, éste será más capaz de trabajar de igual forma dentro de un mayor rango de frecuencias; o sea que un equipo de recepción podrá recibir con la misma calidad más canales de televisión, telefonía o datos que otro con un ancho de banda menor.

Un satélite puede tener una sola antena o varias antenas receptoras, dependiendo de su diseño y aplicaciones y cada una de ellas debe ser capaz de recibir al mismo tiempo muchos canales con información, que posteriormente serán amplificados en distintos transpondedores por separado, o sea las antenas receptoras y transmisoras tienen un ancho de banda muy grande, suficiente para que puedan funcionar a las frecuencias

asignadas a los satélites de comunicaciones, cuya mayor parte funcionan actualmente en las bandas de frecuencias C y Ku. En cada una de estas bandas, el ancho de banda de operación es de 500 MHz para transmisión y 500 MHz para recepción.

En la banda C, las frecuencias que se utilizan para transmitir de la tierra hacia el satélite están entre 5.925 y 6.425 GHz, con una frecuencia central de 6.175 GHz.

Los transpondedores, entre otras funciones, cambian las frecuencias de todas las señales contenidas en ese rango, bajándolas a otro de igual ancho de banda, o sea a 3.7 y 4.2 GHz; posteriormente, todas las señales contenidas en estas últimas frecuencias son entregadas a la antena transmisora, para que las envíe de regreso a la tierra. El enlace de este tipo se le denomina de 6/4 GHz, en el cual se indica que la señal sube al satélite con frecuencias cercanas a los 6 GHz y baja con frecuencias cercanas a los 4 GHz.

En la banda Ku, el proceso de recepción, conversión de frecuencias y transmisión es similar al de la banda C, en éste caso las frecuencias Tierra-satélite están entre 14.0 y 14.5 GHz, con una frecuencia central de 14.25 GHz, y las frecuencias satélite-Tierra están entre 11.7 y 12.2 GHz; en este caso el enlace se representa de la siguiente manera 14/12 GHz.

Existen también los satélites denominados híbridos en los cuales los procesos mencionados anteriormente para las bandas C y Ku se llevan a cabo simultáneamente, a través de sus equipos correspondientes, unos diseñados para trabajar en banda C y otros para hacerlo en banda Ku contenidos en el mismo satélite.

Dentro del transpondedor, el primer dispositivo electrónico importante por donde entran las señales recibidas por la antena es un **amplificador de bajo ruido**, el cual tiene un ancho de banda muy grande, de 500 MHz, porque debe ser capaz de amplificar al mismo tiempo todas las señales recibidas por la antena. Después pasan por un dispositivo conocido como **convertidor de frecuencia** que es un oscilador local que multiplica las señales que entran con otra generada internamente, obteniéndose a la salida señales similares a las que entraron en cuanto a su contenido pero desplazadas a frecuencias

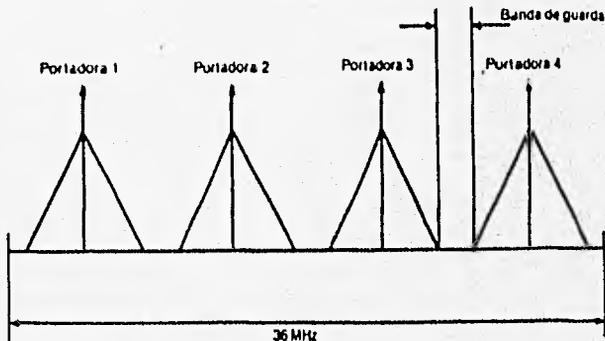
más bajas. Después el paso siguiente es separar las señales en grupos o bloques por medio de un **demultiplexor**, a él entran las señales de información completa de 500 MHz de ancho de banda e internamente por medio de filtros, separa las señales o canales en bloques de 36MHz cada uno, luego independientemente, cada bloque pasa por una etapa de amplificación muy grande por medio del **amplificador de potencia**.

Después todos los bloques son reunidos nuevamente a un ancho de banda de 500MHz, por medio de un **multiplexor** que se conecta a la antena transmisora del satélite. Pero también se instala un **atenuador** a la salida del demultiplexor, éste sirve para disminuir a control remoto, y en distinto grado, la intensidad del bloque de señales que entra a cada amplificador de potencia. La regulación de la intensidad de entrada permite operar al amplificador de potencia en distintas condiciones o puntos de trabajo, y así poder reducir el ruido de intermodulación y su efecto sobre la información digital.

Todo tipo de información que se transmite al satélite tiene una frecuencia asignada, llamada **portadora**.

Siempre que haya más de una portadora presente al mismo tiempo en el amplificador de potencia, se produce ruido de intermodulación y cuanto mayor sea el número, mayor es el ruido y su efecto sobre la información original.

Un ejemplo usual de lo que podría contener un transpondedor de 36MHz de ancho de banda, es el siguiente:



Cada triángulo representa una señal de telefonía que contiene 132 canales telefónicos individuales y tiene asignada su propia frecuencia portadora. La banda de guarda se deja para disminuir o reducir la interferencia entre ambas y su ancho siempre es función del tipo de señales que vayan a sus lados.

Todas las señales provenientes de la Tierra que llegan al satélite, después de haber sido procesadas por los transpondedores en el subsistema de comunicaciones, se retransmiten nuevamente a la Tierra.

Para que no ocurra ningún tipo de confusión o conflicto entre las señales que llegan al satélite simultáneamente, se establece un orden mediante la técnica conocida por el nombre de **acceso múltiple**, (que se verá más adelante).

## TRANSMISION ANALOGICA

La transmisión analógica presenta muchas desventajas frente a la transmisión digital, en cuanto a confiabilidad, alto desempeño, facilidad para combinar señales, etc. Aunque lo mismo que las señales analógicas, las señales digitales tienden a degradarse (en su forma de onda del pulso) al viajar a través de la línea de transmisión. Sin embargo, dado que los circuitos digitales operan usando dos rangos de voltaje determinados para representar sus dos estados posibles ("0" y "1"), dicho pulso o señal es fácilmente regenerado siempre y cuando no haya caído por debajo de cierto umbral de decisión.

El ruido y otras perturbaciones son mucho menos acumulativas en una cadena de transmisión digital que en una analógica. En una señal analógica las distorsiones no pueden ser removidas mediante la simple amplificación.

Para que una señal analógica se pueda transmitir por cualquier medio de transmisión eficientemente, incluyendo en los sistemas satelitales, y no tener ninguna desventaja frente a la transmisión digital es darle un formateado adecuado a las señales o información analógica; o sea, procesar la señal de tal manera que permita que la señal de origen sea compatible con el procesamiento digital, transformando la información original en símbolos digitales.

En el siguiente diagrama a bloques se muestra un sistema de comunicación digital para diferentes tipos de información. (figura 2.1).

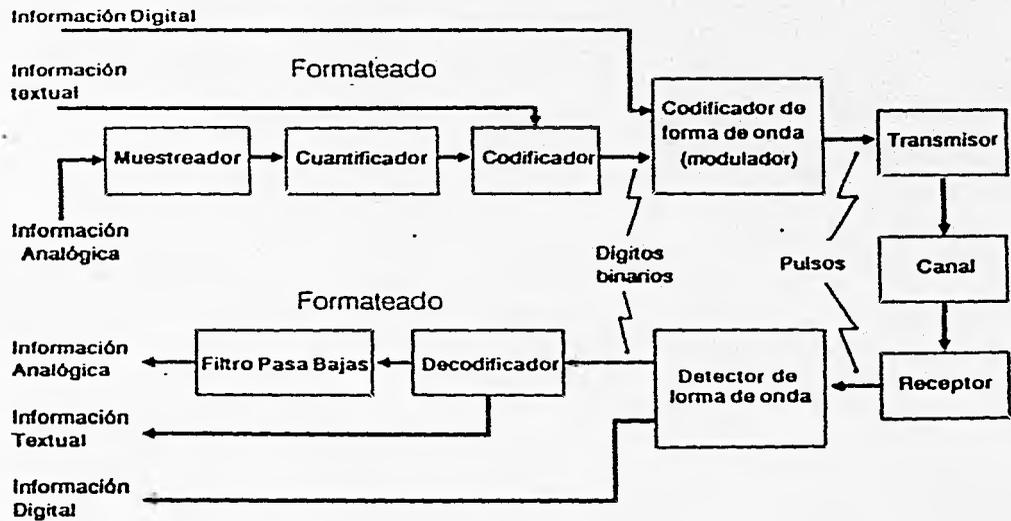


Figura 2.1.

Como se observa, la información que ya tiene un formato digital entra directamente al modulador, mientras que la información textual es transformada a dígitos binarios mediante el codificador. Para el caso de la información analógica, el formateado de la misma requiere de tres pasos:

\*MUESTREO

\*CUANTIFICACION

\*CODIFICACION

Los dígitos binarios que resultan del formateado de la señal se modulan y se transmiten a través de un canal de comunicación. De la modulación resultan una serie de pulsos compatibles para el medio de transmisión.

### **MUESTREO NATURAL**

El proceso de muestreo consiste en tomar y analizar el valor que tiene una señal (muestra) a intervalos de tiempos regulares que se le denomina **velocidad de muestreo**.

La señal resultante de este proceso se le conoce como señal modulada por amplitud de pulso **PAM** (Pulse Amplitude Modulation), porque consiste en una secuencia de pulsos cuya amplitud es aquella de la señal de entrada durante el lapso de muestreo, como se puede observar en la figura 2.2.

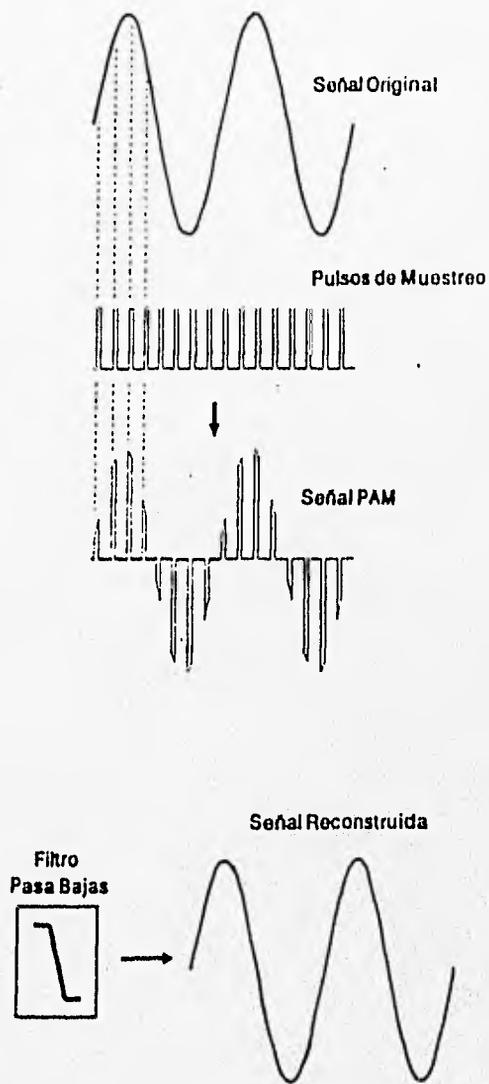


Figura 2.2.

Una virtud muy importante de este proceso es que la señal analógica puede ser reconstruida a su forma original utilizando un filtro pasa bajas cuya frecuencia de corte sea la adecuada.

La señal modulada por amplitud de pulso (PAM) se puede interpretar matemáticamente como el resultado del proceso de multiplicar la señal analógica original y los pulsos de muestreo, teniendo como efecto que el espectro de la señal analógica será copiado repetitivamente y en forma proporcional al espectro de los pulsos de muestreo.

## **MUESTREO INSTANTANEO**

En el muestreo natural se multiplica cada pulso de muestreo por la señal original en el intervalo correspondiente; en consecuencia, cada pulso de la señal muestreada ( $f_s$ ) tiene diferentes formas de onda. En cambio, considérese el muestreo instantáneo en el que todos los pulsos de la señal muestreada tienen la misma forma, pero con amplitudes proporcionales a los valores de las muestras correspondientes. Como es obvio, éste tipo de señal de muestreo lleva la información de todas las muestras y, por lo tanto, contiene toda la información de la señal original (siempre y cuando el intervalo de muestreo sea menor que  $1/2 f_m$  segundos). El muestreo natural lleva la información de la señal original que corresponde a la duración de cada pulso de muestreo mientras que en el muestreo instantáneo la información de la señal original queda contenida sólo en los instantes de muestreo. Por eso se considera instantánea.

Un factor muy importante en el proceso de muestreo natural es determinar el grado de fidelidad con que la señal original puede ser reconstruida a partir del filtraje de la señal PAM. Para aclarar esto es necesario explicar brevemente el llamado teorema de muestreo o criterio de Nyquist.

Si se desea que las muestras de una señal de banda limitada lleven la información completa de la señal, entonces la rapidez de muestreo nunca debe ser menor a 2  $f_m$  muestras por segundo.

Esta rapidez mínima de muestreo ( $2 f_m$  muestras por segundo) es llamada rapidez o criterio de Nyquist,

Es obvio que la rapidez de Nyquist resulta una repetición del espectro de la señal, sin sobreposiciones y sin intervalo alguno entre ciclos sucesivos. Por lo tanto, para recuperar la señal original de la señal muestreada es necesario usar un filtro ideal pasa bajas que permita transmitir sin atenuación las frecuencias  $W < W_m$  y atenuar aquellas componentes de frecuencia superior a  $W_m$ .

Una señal de ancho de banda limitado que no tenga componentes espectrales arriba de  $f_m$  Hertz, puede ser determinada o representada mediante muestras tomadas a intervalos de tiempo regulares a una frecuencia  $f_s$  igual o mayor a dos veces  $f_m$ .

$$f_s > 2 f_m$$

donde:

$f_s$ .- Es la frecuencia de muestreo.

$f_m$ .- Es la frecuencia de la señal original

Como se dijo anteriormente, esto significa que la señal analógica puede ser totalmente reconstruida a partir de un conjunto de muestras espaciadas uniformemente en el tiempo.

En la práctica la frecuencia de muestreo ( $f_s$ ) generalmente tiene un valor mayor que  $2 f_m$ , ya que de no ser así se requerirá como ya se mencionó, de un filtro ideal para poder reconstruir la forma de onda original. Cuando  $f_s > 2f_m$  se dice que existe un proceso de "sobremuestreo" (oversampling), y el efecto que esto produce es que las "copias" del espectro de la señal original se separan unas de otras, haciendo posible el uso de un filtro pasa bajas que pueda ser implementado en la práctica para la reconstrucción de la señal original.

Cuando la frecuencia de muestreo ( $f_s$ ) es menor a  $2f_m$  se presenta un traslapamiento de los espectros que hacen imposible la regeneración fiel de la señal original.

A este efecto de traslapamiento se le llama en inglés "aliasing", como se puede observar en la figura 2.3.

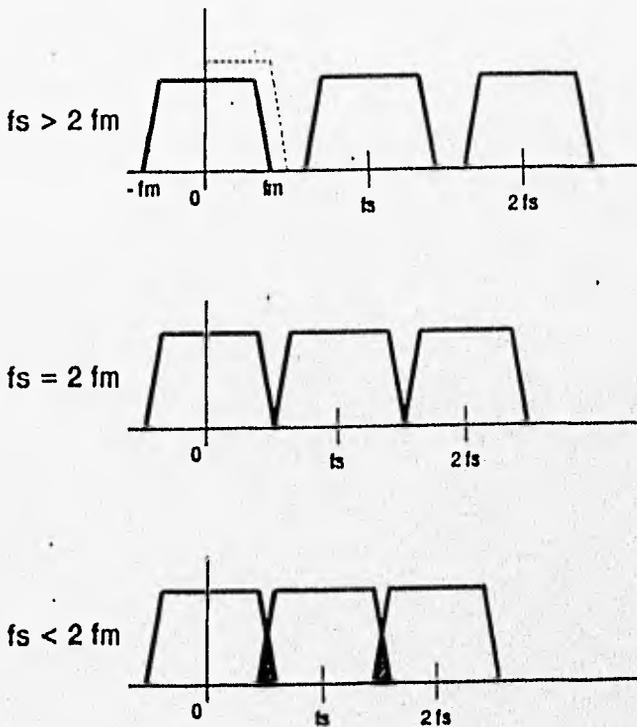


Figura 2.3.

Para evitar los problemas de ciertas pérdidas de información de la señal al ser regenerada mediante filtros, es muy común que la relación entre la frecuencia de muestreo y el ancho de banda de la señal analógica sea la siguiente:

$$f_s > 2.2f_m$$

La señal analógica para poder ser procesada por un sistema de comunicación digital debe ser representada de ciertas maneras. La señal PAM conserva aún la característica propia de toda señal analógica en el sentido de que presenta un número infinito de posibles valores, de manera que se necesita pasar por un proceso que limite el número de los posibles valores. Este proceso lleva la secuencia siguiente:

- MUESTREO Y RETENCION (Sample and Hold).- Este proceso involucra la retención del valor muestreado de la señal analógica, el cual es retenido hasta que se toma la siguiente muestra.

- CUANTIZACION DE LOS PULSOS.- Consiste en dividir el rango de amplitud de la señal en un número finito de valores discretos, y dependiendo de la amplitud de la señal analógica, asignar el valor discreto más cercano para cada muestra.

Este proceso se ilustra en la figura 2.4.

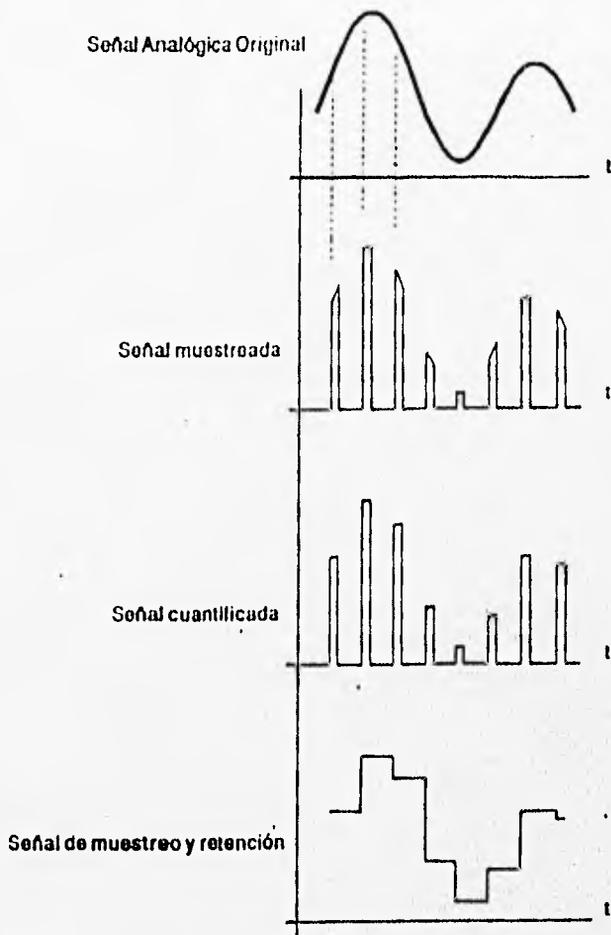


Figura 2.4.

Entre más niveles de cuantización se tengan mayor será la fidelidad de la señal reproducida, aunque como es de esperarse este aumento en el número de niveles trae como consecuencia usar un mayor ancho de banda del sistema

## CUANTIZACION DE AMPLITUD

La cuantización como ya se dijo es el proceso en el cual se "mapean" las muestras tomadas de una señal de amplitud continua para obtener un número finito de posibles valores de amplitud, y esto lo realizan los convertidores analógico a digital (ADC), existen diferentes tipos de cuantización entre las cuales están la cuantización uniforme y no uniforme y cuantización polarizada que puede ser uniforme y no uniforme.

El proceso de cuantización presenta las siguientes características:

- \* Al realizar la cuantización siempre se realiza un redondeo y por lo tanto las variables cuantizadas son diferentes de las reales.
- \* El número de bits debe ser grande para tener una buena cuantización.
- \* Los dispositivos físicos que realizan los procesos de cuantización son los convertidores analógico - digitales.

Sin embargo hay que tomar en cuenta el ruido de cuantización, también conocido como error de cuantización o oproximación, es la diferencia entre la entrada y la salida del cuantificador.

A diferencia del ruido blanco, el cual es de tipo "aditivo", es decir, que se suma o afecta a una señal sin importar su amplitud o frecuencia, el ruido o error de cuantización depende del valor que tenga la señal de entrada.

## CODIFICACION

En forma general, los sistemas de modulación se pueden dividir en dos clases: a) sistemas no codificados y b) sistemas codificados. En los sistemas no codificados un símbolo en el espacio del mensaje se transforma en un símbolo en el espacio de la señal modulada. Así en AM, cada amplitud posible del mensaje original se transforma en una amplitud particular de la señal modulada.

En sistemas codificados como los de la modulación de pulsos codificados (PCM), cada símbolo del mensaje o amplitud se transforma en un cierto número de símbolos de señal. Solamente con sistemas codificados se puede obtener en teoría la combinación más eficiente, del ancho de banda con la razón señal a ruido. Los sistemas no codificados (como FM) son por naturaleza incapaces de combinar el ancho de banda con la razón señal a ruido eficientemente.

En términos generales PCM es la técnica y nombre con que se conocen las señales de banda base obtenidas de cuantización de señales PAM codificando cada muestra cuantizada en una palabra digital de denominado número de bits en forma proporcional al número de intervalos de cuantización utilizados, de acuerdo a la siguiente relación:

$$L = 2^n$$

donde:

L = número de intervalos de cuantización

n = número de bits usados para representar digitalmente las muestras

PAM.

De esta manera, si por ejemplo se usan 4 bits, se tendrán 16 niveles de cuantización; si se usaran 8 bits, se tendrán 256 niveles.

## MULTIPLEXACION POR DIVISION DE FRECUENCIAS.

Es posible enviar varias señales simultáneamente, eligiendo una frecuencia portadora diferente para cada una. Estas frecuencias se eligen de forma que los espectros de las señales no se traslapen.

Este método de transmisión se llama *multiplexación por división de frecuencias* (FDM, Frequency Division Multiplexing). Esto consiste en situar los espectros de las señales en frecuencias tales que cada uno pueda separarse de los demás por medio del filtrado. Aquí se destaca el uso de la modulación de amplitud (AM), que aunque la multiplexación por división de frecuencias no excluye el uso de otros métodos de modulación.

## MULTIPLEXACION POR DIVISION DE TIEMPO.

El uso de los pulsos muy estrechos en PAM, deja suficiente espacio entre muestras para la inserción de pulsos de otras señales muestreadas. El método de combinar varias señales muestreadas en determinada sección de tiempo se llama *multiplexación por división de tiempo* (TDM).

Las muestras de cada señal permanecen independientes y pueden identificarse y separarse en el dominio del tiempo; sin embargo, los espectros de las señales muestreadas se mezclan y ocupan la misma región de frecuencias, por lo que se vuelve imposible identificarlas. De ésta manera, la identidad del espectro se mantiene en señales multiplexadas por división de frecuencias mientras que, en señales multiplexadas por división de tiempo, se mantiene la identidad de la forma de onda. Puesto que una señal queda especificada completamente o bien en el dominio del tiempo o en el de la frecuencia, éstas señales pueden separarse en el receptor con las técnicas apropiadas en los dominios respectivos. En el sistema de división de tiempo, cada señal ocupa un intervalo de tiempo distinto (que no ocupa ninguna otra señal), pero los espectros de todas las señales tienen

componentes en el mismo intervalo de frecuencia. Un ejemplo de FDM se muestra en la figura 2.5.

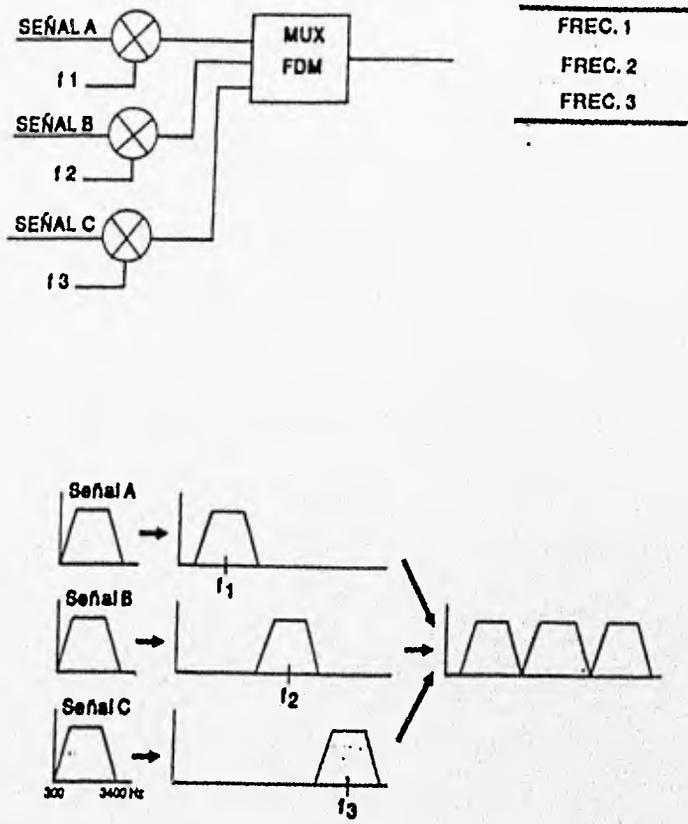


Figura 2.5.

## TRANSMISION DIGITAL

Existe un número infinito de formas de onda que se pueden formar con señales continuas. En contraste, se plantea un caso en donde nos interesa transmitir una de un número finito de formas de onda o mensajes. La transmisión de un texto en inglés empleando un código como el de Morse, es un ejemplo simple de esto. En este caso, existe un total de 27 símbolos o mensajes (26 letras y un espacio). Estos símbolos se transmiten por diferentes combinaciones de marca y espacio. En consecuencia, el problema de transmitirlo se reduce al problema de transmitir una serie de formas de onda, seleccionadas cada una de un grupo específico o finito. Este tipo de comunicación se conoce como **comunicación digital**. Esto contrasta con el caso de transmitir información analógica.

Ya es evidente la diferencia fundamental entre los sistemas de comunicación de datos digitales y de datos continuos (o de datos analógicos). En la comunicación digital, interviene la transmisión y detección de una forma de un grupo finito de formas conocidas, mientras que en la comunicación continua, existe un número infinito de mensajes y las formas de onda correspondientes no se conocen.

El sistema de modulación de pulsos codificados (PCM), es un sistema de comunicación de datos digitales que se emplea para transmitir datos continuos. Esta transmisión se vuelve posible gracias al proceso de cuantificación. En efecto, en este proceso se aproximan las señales continuas para que puedan tomar tan solo ciertas amplitudes discretas. Escencialmente, esto es la digitalización de la señal continua, los mensajes se pueden transmitir mediante un número finito de símbolos (o niveles).

En los sistemas digitales, el problema de detección es un poco más sencillo que en los sistemas continuos. Durante la transmisión, las formas de onda sufren los

efectos del ruido del canal. Cuando la señal llega al receptor, es necesario decidir cuál de las "n" formas de onda conocidas posibles se ha transmitido.

Una vez que se ha decidido, se recupera exactamente la forma de onda transmitida, sin ningún ruido. Por lo tanto, en este sentido, el ruido del canal no ejerce influencia alguna; sin embargo, provocará algún error en nuestra decisión. De modo que debemos aceptar el hecho de que algunas decisiones serán equivocadas y que el error crecerá con el incremento del ruido. La ocasión de cometer un error (probabilidad de error) constituye un criterio muy significativo para detectar señales en sistemas digitales.

Los sistemas PCM cada vez son más importantes, debido a ciertas ventajas inherentes sobre otros tipos de sistemas de modulación. Entre estas ventajas destacan las siguientes:

- \*En comunicación a larga distancia, las señales PCM pueden regenerarse completamente en estaciones repetidoras intermedias porque toda la información está contenida en el código. En cada repetidora se transmite una señal esencialmente libre de ruido. Los efectos del ruido no se acumulan y sólo hay que preocuparse por el ruido de transmisión.

- \*Los circuitos de modulación y demodulación son todos digitales, alcanzando por ello gran confiabilidad y estabilidad, adaptándose rápidamente al diseño lógico del circuito integrado.

- \*Las señales pueden almacenarse y escalarse en el tiempo eficientemente. Por ejemplo, los datos de PCM pueden generarse en un satélite orbital una vez por minuto en una órbita de 90 minutos y después retransmitirse a una estación terrestre en cuestión de pocos segundos.

- \*Puede usarse un código eficiente para reducir la repetición innecesaria en los mensajes. Por ejemplo si se desea enviar uno a un amigo distante por telegrama, es mucho más eficaz asignar un código (es decir un número) a este mensaje redundante y enviar el

código (el número). En la estación receptora, el decodificador reconoce el código y escribe el mensaje.

\*Una codificación adecuada puede reducir los efectos del ruido y la interferencia, el ancho de banda puede intercambiarse por potencia de la señal; como el PCM puede escalarse en el tiempo, este también puede intercambiarse por potencia de la señal.

En términos generales PCM es la técnica y el nombre con que se conocen las señales de banda base obtenidas de la cuantización de señales PAM, codificando cada muestra cuantizada en una palabra digital de determinado número de bits en forma proporcional al número de intervalos de cuantización de acuerdo a lo siguiente:

$$L=2^n$$

L = número de intervalos de cuantización

n = número de bits usados para representar digitalmente las muestras PAM.

De esta manera si por ejemplo se usan 4 bits, se tendrán 16 niveles de cuantización; si se usaran 8 bits se tendrían 256 niveles.

El concepto de PCM es de gran importancia en las telecomunicaciones ya que es la base de la telefonía digital, en la cual se ha estandarizado el uso de una velocidad de muestreo de 8 KHz y un tamaño de palabra PCM de 8 bits. La velocidad de transferencia de datos por un canal PCM es entonces de 64 kbps.

Después de haber sido codificada la señal PCM en forma binaria el resultado será una señal unipolar en el cual se tendrá un factor indeseable como es la existencia de intervalos repetitivos de secuencias de unos y ceros consecutivos y componentes de DC que no pueden ser transmitidas a través de transformadores de acoplamiento. Para resolver éste problema existen diferentes tipos de códigos de línea que convierten la señal unipolar en bipolar como lo son:

\*Códigos NRZ (Non Return to Zero) de no retorno a cero

\*Códigos RZ (Return to Zero) de retorno a cero

solo por mencionar algunos, ya que los diferentes códigos de línea para PCM se deben a que cada uno presenta características especiales según sea la aplicación.

Entre los parámetros más importantes para usar un determinado código de línea son los siguientes:

**\*Componente de DC:** La ausencia de componentes de baja frecuencia en una señal, permite su acoplamiento en AC con otros sistemas.

**\*Autosincronización:** Esto permite al receptor sincronizarse a nivel de bit con la señal de entrada, sin usar ninguna otra señal de sincronización.

**\*Detección de errores:** Algunos códigos permiten la detección de errores sin necesidad de introducir bits adicionales.

**\*Inmunidad al ruido:** Algunos códigos presentan mayor inmunidad que otros; por ejemplo, los códigos NRZ son mejores que lo RZ en ese sentido y tiene una gran componente de baja frecuencia.

Entre los códigos más usados en los sistemas multiplexores PCM están: el código AMI RZ( Alternate Mark Inversión) y el código HDB3 (High Density Bipolar 3) Código bipolar de alta densidad 3, que limita el número de ceros consecutivos a un máximo de 3.

## **INTERFERENCIA INTERSIMBOLICA.**

La interferencia intersimbólica se refiere a los efectos que tiene el ancho de banda del sistema de comunicación sobre la señal de banda base a transmitir en el sentido de dificultar la detección correcta de las señales en el receptor debido al traslapamiento de los intervalos de cada símbolo. Las limitantes en este caso no solamente se deben a los elementos del filtraje mismo del sistema, sino también a las características propias del canal de transmisión.

El ancho de banda de un sistema, necesario para transmitir un canal PCM sin ISI será:

$$(8 \text{ bits/muestra})(8,000 \text{ muestras/seg.}) < 2 (\text{ancho de banda})$$

$$64,000 \text{ bits/seg.} < 2 (\text{ancho de banda})$$

$$\text{ancho de banda} > 32 \text{ KHz}$$

## MODULACION.

La modulación es el proceso mediante el cual los símbolos digitales son transformados en formas de onda compatibles con las características del canal de comunicación y además permitir multiplexar o agrupar varias señales diferentes a través del mismo canal de comunicación.

Hay que reconocer que el receptor solamente tiene que ser capaz de RECONOCER que la señal tiene uno de sus dos posibles estados.

Si las señales digitales a la entrada del modulador toman uno de los dos únicos posibles valores, el sistema de comunicación se conoce como binario. Si esta disponible uno de los posibles valores,  $M > 2$ , se conoce como un sistema de grado M. Para la transmisión a larga distancia esas señales digitales de banda base, procedentes de la fuente, pueden modular una portadora antes de la transmisión. El resultado se conocerá como manipulación por cambio de amplitud (ASK), manipulación por cambio de fase (PSK) o manipulación por cambio de frecuencia (FSK), ya sea que se varíe la amplitud, la fase o la frecuencia respectivamente, la que varía de acuerdo con la señal de banda base.

Como se acaba de mencionar, los tipos básicos de modulación digital coherente son:

\*(PSK) Phase Shift Keying

\*(FSK) Frequency Shift Keying

\*(ASK) Amplitude Shift Keying

Para estos casos existen existen dos modalidades.

\*De tipo coherente

\*De tipo no coherente

El tipo **coherente** se refiere a que el receptor utiliza la información de fase de la portadora para llevar a cabo el proceso de detección, presentándose un llamado "amarre" de fase entre el receptor y la señal entrante.

Como es de esperarse, la detección **no coherente** por lo general reduce la complejidad del sistema, pero a costa de incrementar el parámetro de probabilidad de error. Igualmente, si está disponible en el receptor una señal periódica que esté en sincronismo con la secuencia transmitida de señales digitales (conocida como reloj) el sistema se conoce como sincrónico; si se emplea una técnica de señalización donde es innecesario este reloj, el sistema se llama asincrónico.

Dentro de la modalidad de modulación no coherente existe la llamada PSK diferencial o DPSK. La clasificación como no coherente se debe al hecho de que para la detección del símbolo actual se utiliza la información de fase del símbolo detectado anteriormente.

## MODULACION PSK

Fue desarrollada en E.U. durante los inicios del programa espacial. Dentro de esta modulación está la PSK binaria (BPSK) en donde a la entrada de bits de datos discretos causa un cambio de  $180^\circ$  o radianes en la fase y en la portadora y cuando existe una diferencia de  $180^\circ$  entre dos señales se dice que son antipodales. Dos distintos procedimientos son comunmente usados:

**Codificación directa:** Donde hay un mapeo uno a uno de los bits transmitidos dentro del valor absoluto de fase en la señal de canal.

secuencia de bits 0 1 1 1 0 1 0 1

secuencia de fase 0  $\pi$   $\pi$  0  $\pi$  0  $\pi$

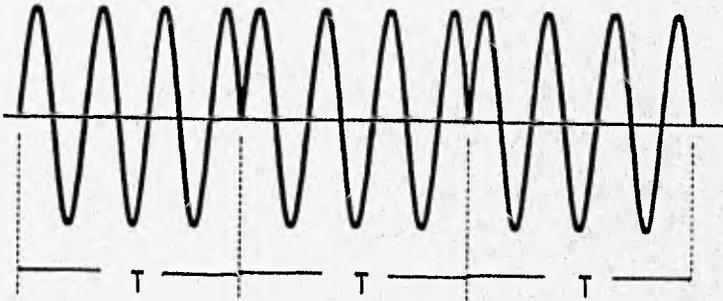
**Codificación diferencial:** Donde hay un mapeo uno a uno de los bits en el cambio de fase entre dos señales consecutivas de acuerdo a la siguiente regla

bit	cambio de fase
0	0
1	$\pi$

para que la previa secuencia de bit cambie a la siguiente secuencia de fase

secuencia de bit 0 1 1 1 0 1 0 1

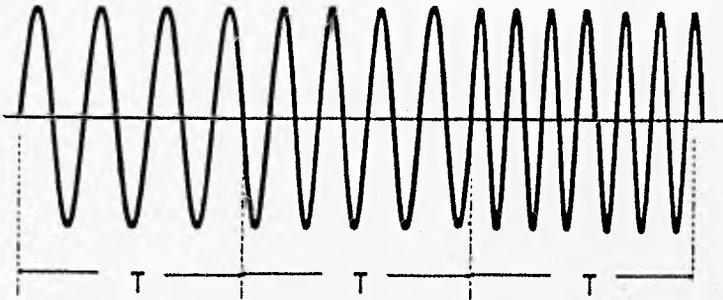
secuencia de fase 0  $\pi$  0  $\pi$   $\pi$  0 0  $\pi$



MODULACION PSK

## MODULACION FSK

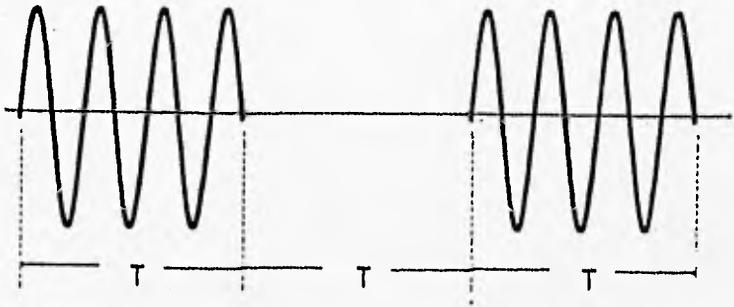
En esta modulación hay un cambio de frecuencias, ya que el espaciamento de las mismas en los tonos utilizados para representar un símbolo u otro depende del periodo de tiempo asignado para cada símbolo.



## MODULACION FSK

### MODULACION ASK

En este tipo de modulación hay un cambio en la amplitud. Fue una de las primeras formas de modulación digital usada para radio-telegrafía a principios de siglo. A la modulación ASK binaria se le conoce también con el nombre de modulación "on-off" (on-off Keying). En la actualidad no es muy usada como los otros tipos de modulación básicos.



## MODULACION ASK

### PROBABILIDAD DE ERROR.

La medida principal del funcionamiento de un sistema de comunicación de datos digitales es el error de probabilidad  $P_e$ .

El desempeño de error de un sistema de modulación digital se refiere a dos factores principales:

- \*Probabilidad de error a nivel de símbolo ( $P_e$ )

- \*Probabilidad de error a nivel de bit ( $P_b$ )

$P_e$  se utiliza generalmente para especificar el desempeño del proceso de detección (símbolos), mientras que  $P_b$  está referido al proceso de modulación/demodulación.

Otras técnicas de modulación muy usadas son:

- \*QPSK (PSK en cuadratura)
- \*Offset QPSK (O-QPSK)

### QPSK

Esta modulación se lleva a cabo separando en cuadratura los pulsos bipolares originales de manera que se obtengan en forma separada los bits noes y los bits pares, para luego hacer que cada uno de estos trenes de pulsos modulen a dos señales senoidales que tienen una diferencia de fase de  $90^\circ$  (ortogonales).

### O-QPSK

Este tipo de modulación es similar a la QPSK, con la diferencia de que la señal en cuadratura se retrasa un periodo de tiempo  $T$  antes de modular a la portadora correspondiente. Para la obtención de la señal de salida se sigue la misma mecánica que para la QPSK.

### SINCRONIZACION.

Cuando se habla de la sincronización de un sistema, ésta puede estar referida a diferentes niveles de sincronización.

- \*Sincronización de portadora.
- \*Sincronización de símbolo.
- \*Sincronización de trama.

## SINCRONIZACION DE PORTADORA

Cuando la detección de las señales en el receptor se realiza en forma coherente es necesario que el receptor mismo genere una señal de referencia a partir de las señal portadora que sirva para que el detector pueda distinguir o discriminar entre los diferentes símbolos a recibir.

El objetivo es que dicha señal de referencia tenga exactamente la misma fase que tendría la portadora en caso de que ésta no estuviera modulada por los símbolos digitales. Cuando se cumple ésta condición se dice que el receptor está amarrado en fase (Phase Locked) con la señal de entrada. El dispositivo utilizado por los sistemas coherentes para llevar a cabo la generación de la señal de referencia, es el llamado "lazo de amarre de fase" o PLL (Phase-Locked Loop). Cuyo diagrama 3.1. se muestra a continuación.

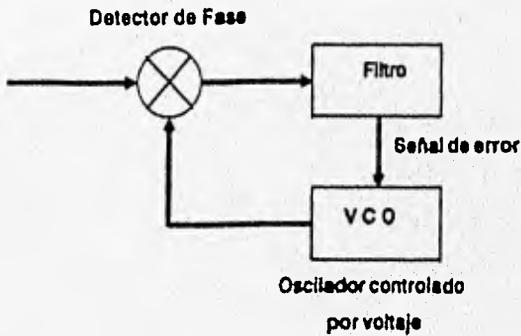


Diagrama 3.1.

Las diferencias de fase entre la señal de entrada y la señal generada localmente se traducen en variaciones de voltaje que después de ser filtradas se aplican al VCO (oscilador controlado por voltaje). El VCO cambiará su frecuencia de acuerdo con dicha señal de error de manera que las fases de su señal de salida y de entrada sean iguales (amarre de fase).

### **SINCRONIZACION DE SIMBOLO**

Esta sincronización se utiliza para optimizar el proceso de la demodulación en el receptor. Además de la señal de referencia para la detección de fase de la portadora, el receptor deberá generar una señal de tipo onda cuadrada cuyas transiciones coincidan con los momentos en que la señal de entrada cambia de un símbolo a otro.

### **SINCRONIZACION DE TRAMA**

La mayoría de los trenes de datos observan algún tipo de estructura de trama.

Para la sincronización de trama se utiliza algún proceso de señalización por parte del transmisor. Una de las formas más empleadas de señalización para sincronización de trama es el uso de algún patrón especial de bits colocados al principio de la trama, por ejemplo las llamadas "banderas" utilizadas en algunos protocolos.

## ACCESO MULTIPLE

### ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE FRECUENCIAS.

Como ya se vió con anterioridad, el ancho de banda total de un satélite es de 500 MHz y se divide en varios transpondedores, siendo la forma usual de hacerlo utilizando ranuras de 36 MHz . Esto significa que el amplificador de cada transpondedor puede darle cabida a una gran diversidad de información que ocupe en total un ancho de banda de 36 Mhz. Por ejemplo, tres estaciones terrenas en distintas ciudades cada una y en las tres quisieran hacer uso del satélite al mismo tiempo, por consiguiente las señales que se generan a cada instante en cada una de las tres estaciones terrenas requieren distintos anchos de banda para que puedan transmitirse. Podría ser que en una de las estaciones hubiera bastante tráfico telefónico de larga distancia que el bloque resultante al combinar todos los canales telefónicos y modularlos, ocupara el ancho de banda de 36 MHz, en tal caso ocuparía todo el transpondedor del satélite, y de ser así, solamente habría una frecuencia portadora presente en el amplificador de potencia correspondiente y por consiguiente no se produciría ruido de intermodulación, pero este caso es muy especial, ya que es mucho más común tener agrupaciones de canales telefónicos que ocupen menos de 36 MHz de ancho de banda.

Pero es evidente que si las tres estaciones transmiten al mismo tiempo, deben hacerlo con frecuencias portadoras diferentes para que no haya interferencia. Si la suma de los anchos de banda que requieren las tres estaciones individualmente da un total cercano a los 36 MHz, entonces las tres ocuparían simultáneamente el mismo transpondedor del satélite, separadas por bandas de guarda como se indica en la siguiente figura 4.1.

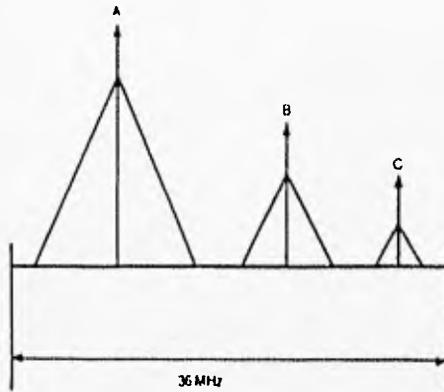


figura 4.1.

Esta forma de uso simultáneo del transpondedor por varias estaciones terrenas, estén o no en la misma ciudad se le conoce como **acceso múltiple por división de frecuencias (FDMA)** ya que el espectro radioeléctrico del transpondedor se divide en secciones o ranuras de frecuencias asignadas a cada una de ellas, y como la estación debe transmitir siempre con la misma frecuencia portadora. durante la mayor parte del tiempo, cada una de ellas ocupará activo ese ancho de banda que se le asignó; por lo que también se la llama **acceso múltiple por división de frecuencias con asignación fija**.

Pero cuando el tráfico generado en los puntos geográficos que comparten un transpondedor es intermitente o esporádico. la capacidad de ese transpondedor no se estaría aprovechando con eficiencia si se empleara la técnica anterior; por lo que se usa la técnica llamada de **acceso múltiple por división de frecuencias con asignación por demanda (DAMA)**.

## ACCESO MULTIPLE CON ASIGNACION POR DEMANDA.

Esta técnica de acceso permite aprovechar al máximo las ranuras de frecuencia y la potencia del satélite cuando el tráfico que genera cada estación es esporádico, pues las ranuras se asignan a las estaciones terrenas solamente durante el tiempo que las necesita para establecer comunicación; en el momento en que alguna deja de transmitir, la ranura se libera, quedando disponible para cualquier otra estación terrena que la solicite. Cuando después de algun tiempo, la estación terrena que liberó una ranura y desea transmitir más información y esa ranura está ocupada, puede hacer uso de cualquier otra ranura que en ese momento estuviera vacía. Desde luego que la ocupación de cualquier ranura vacía no se hace en forma arbitraria, sino a través de una estación central que coordina las frecuencias disponibles

Existen sistemas como el SPADE, usado por INTELSAT para darle servicio telefónico a los países con poco tráfico entre sí.

En el sistema SPADE cada ranura tiene su propia frecuencia portadora y su ancho de banda es ocupado por un sólo canal telefónico modulado, a esta forma de transmisión se le llama **canal único por portadora (SCPC)**.

Existen variantes en cuanto a la forma de ranurar en frecuencia un transpondedor y accederlo u ocuparlo desde varias estaciones terrenas.

Para enlazar puntos que generan tráfico permanente se emplea la asignación fija, y esta puede ser SCPC cuando el tráfico es poco pero constante o bien de **portadora multicanal (MCPC)**. En la cual una portadora multicanal transporta muchos canales que han sido previamente combinados en forma adecuada y la ranura de frecuencias necesaria para ubicarla es angosta o muy ancha, dependiendo del número de canales, los cuales pueden ser analógicos o digitales, con multiplexaje en frecuencia o en tiempo.

## ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE TIEMPO.

Este acceso múltiple es una técnica totalmente digital mediante la cual varias estaciones terrenas accesan u ocupan un transpondedor o parte de él. En ésta técnica todo un grupo de estaciones tiene asignada la misma ranura, con un cierto ancho de banda fijo, y se comparte entre ellas secuencialmente en el tiempo, es decir, cada estación tiene asignado un tiempo  $T$  para transmitir, y cuando su tiempo se agota debe dejar de transmitir para que lo hagan las estaciones que le siguen en la secuencia, hasta que le toque nuevamente su turno.

El tiempo asignado a cada estación no es igual necesariamente en todos los casos, ya que en algunas estaciones se conduce o hay más tráfico que en otras y, por lo tanto, la ranura de tiempo que se le asigne debe ser más larga que en la de las estaciones chicas, como lo muestra la siguiente figura 4.2.

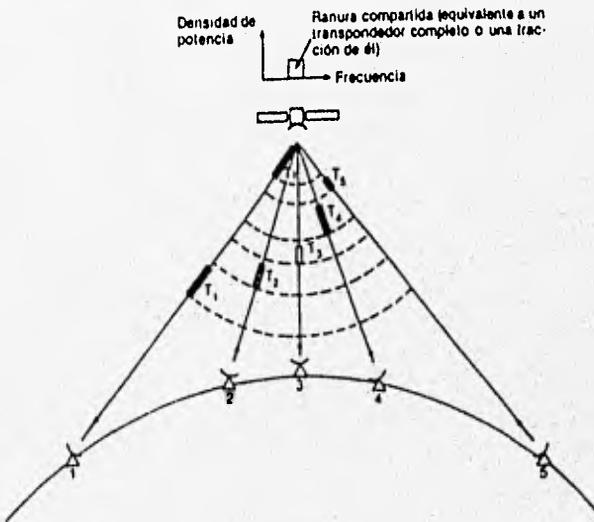


Figura 4.2.

Estos tiempos asignados pueden ser fijos por estación, en cuyo caso se tiene acceso múltiple por división de tiempo con asignación fija, o bien puede variar con el tiempo cuando algunas estaciones tengan exeso de tráfico.

Un sistema TDMA es más complejo que uno de FDMA y necesita una buena coordinación entre todas las estaciones terrenas de la red que lo usan y una estación de referencia; y como las estaciones transmiten en forma de ráfaga a intervalos con duración de una pequeña fracción de milisegundo, deben contar con módulos de almacenamiento de información digital, que liberan la información por paquetes en cada ráfaga.

La modalidad de TDMA que se utiliza en la práctica es la de ocupación del transpondedor completo por la portadora modulada y por consiguiente no hay ruidos de intermodulación y se puede aprovechar al máximo la potencia de salida del amplificador. En varias situaciones, el tráfico manejado por una red de estaciones no es tan grande como para la ocupación total de un transpondedor, sino solamente una fracción de él; en estos casos se comparte el ancho de banda del transpondedor en FDMA con los servicios prestados por otras estaciones independientes de la red TDMA, sin perderse la flexibilidad que brinda el sistema TDMA totalmente digitalizado, como lo muestra la siguiente figura 4.3.

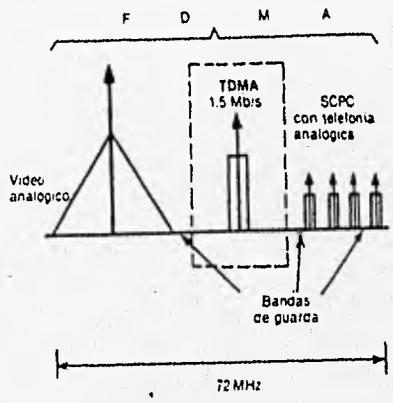
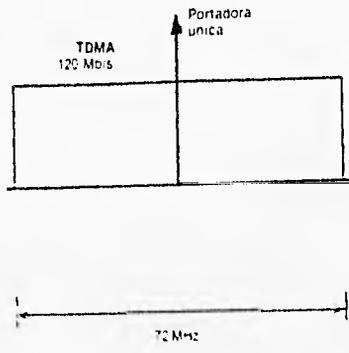


Figura 4.3.

La técnica TDMA, al igual que la FDMA, no es más que una forma mediante la cual las estaciones terrenas comparten un transpondedor o parte de él. Independientemente del tipo de acceso que se utilice, es necesario que los canales de video, voz y datos que se van a transmitir pasen por varias etapas de procesamiento a partir de su estado de banda base, principalmente las etapas de multiplexaje y modulación que son de varios tipos diferentes.

### ACCESO MULTIPLE POR DIFERENCIACION DE CODIGO.

De las técnicas de acceso múltiple FDMA y TDMA, que son las de mayor uso en los satélites comerciales de comunicaciones, además existe una tercera técnica, en la que un transpondedor completo es ocupado por varias estaciones que transmiten a la misma frecuencia y al mismo tiempo. Esta técnica se le conoce como **acceso múltiple por diferenciación de código (CDMA)**, es particularmente útil en transmisiones confidenciales o muy sencitivas a la interferencia; al igual que TDMA es totalmente digital, y presenta la ventaja de que las antenas terrestres transmisoras y receptoras pueden ser muy pequeñas, sin importar que sus ganancias sean bajas y sus haces de radiación muy amplios.

Esta técnica presenta el inconveniente de que ocupa mucho ancho de banda (un transpondedor completo), pues cada bit de información como los que se transmiten en modalidad TDMA se transforma en un nuevo tren de bits muy largo, de acuerdo con un código determinado previamente.

En la siguiente figura 4.4, se ejemplifica una red de seis estaciones terrenas con la técnica de acceso CDMA. Cada estación transmisora utiliza una secuencia diferente de bits para codificar cada uno de los bits de información; de las estaciones terrenas receptoras, sólo la destinataria de cierta información determinada conoce el código con el que se transmitió y es capaz de reconstruir el mensaje original, aunque llegue traslapado



Con el fin de aumentar la capacidad de los satélites se han desarrollado dos métodos para utilizar las frecuencias casi por duplicado: reutilización con aislamiento espacial y con discriminación de polarización.

La **reutilización de frecuencias con aislamiento espacial** se realiza con un subsistema de antenas que produzca muchos haces dirigidos hacia zonas geográficas diferentes; si algunos haces están lo suficientemente separados entre sí, entonces pueden utilizar las mismas frecuencias.

La **reutilización de frecuencias con discriminación de polarización** se efectúa mediante la transmisión simultánea en un mismo haz, a la misma frecuencia, con señales de polarizaciones ortogonales, estas pueden ser lineales o circulares. El satélite Morelos es uno de los que operan con este tipo de reutilización de frecuencias.

## CONCLUSIONES

Las comunicaciones son importantes hoy en día, ya que han tenido un gran desarrollo, ampliándose los medios de transmisión de información que van desde el par trenzado hasta la fibra óptica, incluyéndose las microondas y los sistemas satelitales, ya que la transmisión de información ya no solamente es analógica sino digital, manejándose así grandes volúmenes de información.

En los sistemas satelitales se manejan tres técnicas de transmisión de información muy importantes, que son: transmisión analógica, digital y de acceso múltiple, ya que por satélite se pueden mandar diferentes tipos de señales de comunicación, como lo son: telefonía, video e información digital de datos

Con éstas técnicas de transmisión se convierte al satélite en un aparato muy versátil, ya que gracias a él puede haber enlaces de comunicación internacional muy eficientes ya sea voz, datos o video.

La técnica de transmisión de información analógica tiene la ventaja de no requerir de sincronización del sistema y que generalmente se ocupa un menor ancho de banda que en la transmisión digital. Pero a su vez, la transmisión de información digital tiene sus ventajas frente a la técnica analógica, las cuales son mayores, ya que se tiene una mayor confiabilidad en la transmisión, más alto desempeño y gran facilidad para la implementación de nuevas aplicaciones, manejándose gran volumen de información. La técnica de transmisión de acceso múltiple es muy importante, ya que gracias a la misma, varias ciudades pueden hacer uso del satélite simultáneamente, pudiendo manejar información analógica o digital, según sea el tipo de transmisión.

## GLOSARIO

**AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO.**-Primer dispositivo importante por el que entran las señales recibidas por la antena, el cual tiene un ancho de banda de 500 MHz que preamplifica las señales antes de pasar al convertidor de frecuencia.

**ANCHO DE BANDA.**-Es el intervalo de frecuencias a través del cual la magnitud de la señal permanece dentro de un rango de valores determinado.

**ASK.**-Cierta tipo de modulación digital en el que hay un cambio en la amplitud de la señal.

**BANDA DE GUARDA.**-Cierta frecuencia que se deja entre dos señales portadoras para disminuir o reducir la interferencia entre ambas.

**CONVERTIDOR DE FRECUENCIA.**-Oscilador local que multiplica las señales que entran con otra generada internamente, obteniéndose las señales desplazadas a frecuencias más bajas.

**CUANTIZACION DE PULSOS.**-Consiste en dividir el rango de amplitud de la señal en un número finito de valores discretos, y dependiendo de la amplitud de la señal analógica, asignar el valor discreto más cercano para cada muestra.

**CDMA.**-Técnica de acceso múltiple por diferenciación de código.

**DEMODULACION.**-Proceso mediante el cual se remueve la señal portadora de la información transmitida.

**DEMULTIPLEXOR.**-Dispositivo electrónico mediante el cual entra una señal y a la salida se tienen varias señales.

**ESTACION TERRENA.**-Estación que consiste en una serie de equipos interconectados entre sí, como lo son un transmisor, un receptor, antena y equipo de rastreo para el satélite.

**FORMATEADO DE LA SEÑAL.**-Procesar la señal de tal manera que permita que la señal de origen sea compatible con el procesamiento digital.

**FRECUENCIA.**-Son las veces que se repite continuamente una señal con respecto al tiempo.

**FDMA.**-Técnica de acceso múltiple por división de frecuencias.

**FSK.**-Cierta tipo de modulación digital en el cual hay un cambio de frecuencias.

**INTERFERENCIA INTERSIMBOLICA.**-Efecto que se presenta cuando el ancho de banda del canal es igual o solamente un poco mayor al ancho de banda de la señal a transmitir.

**MODULACION.**-Proceso mediante el cual los símbolos digitales son transformados en formas de onda compatibles con las características del canal de comunicación.

**MUESTREO.**-Es el proceso que consiste en tomar y analizar el valor que tiene una señal (muestra) a intervalos de tiempo regulares.

**MULTIPLEXOR.**-Dispositivo electrónico en el cual entran varias señales y a la salida se tiene una sola.

**O-QPSK.**-Tipo de modulación digital en la que la señal en cuadratura se retrasa un periodo de tiempo  $T$  antes de modular a la portadora correspondiente.

**PAM.**-Señal resultante del proceso de muestreo llamada señal modulada por amplitud de pulso.

**PORTADORA.**-Frecuencia que se le asigna a todo tipo de información para poder ser transmitida hacia el satélite.

**PCM.**-(Modulación de pulsos codificados) es la técnica y nombre con que se conocen las señales de banda base obtenidas de la cuantización de las señales PAM.

**PSK.**-Tipo de modulación digital en la cual hay un cambio de fase de  $180$  o radianes y también en la portadora.

**QPSK.**-Técnica de modulación digital que se lleva a cabo separando en cuadratura los pulsos bipolares originales de manera que se obtengan en forma separada los bits noes y los bits pares.

**RUIDO DE CUANTIZACION.**-Es la diferencia entre la entrada y la salida del cuantificador, también conocido como error de cuantización.

**TDMA.**-Técnica de acceso múltiple por división de tiempo.

**TRANSPONDEDOR.**-Nombre que se le da a la trayectoria completa de cada repetidor, comprendiendo todos sus equipos desde la salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora.

# BIBLIOGRAFIA

## \*INTRODUCCION A LA TEORIA Y SISTEMAS DE COMUNICACION

Autor: B. P. Lathi

Editorial Limusa

Décimosegunda impresión

México, 1993

## \*SISTEMAS DE COMUNICACION

Autor: Ferrel G. Strembler

Fondo Educativo Interamericano 1985

## \*PRINCIPIOS DE COMUNICACIONES

Autor: R. E. Ziemer y W. H. Tranter

Editorial Trillas

Última reimpresión 1988

## \*SISTEMAS DE COMUNICACION

Autor: B. P. Lathi

Nueva Editorial Interamericana 1986

## \*SATELLITE COMMUNICATIONS SYSTEMS

Autor: G. Maral y M. Bousquet

John Wiley & Sons 1988

**\*FUNDAMENTOS DE COMUNICACIONES DE DATOS**

**Autor: Jerry FitzGerald**

**Editorial Limusa**

**México 1981**

**\*FUNDAMENTOS DE COMUNICACIONES DIGITALES**

**Teledata Technology 1993**

**\*SATELITES DE COMUNICACIONES**

**Autor: Rodolfo Neri Vela**

**Editorial McGraw Hill**

**Primera Edición**