

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**COMUNICACIONES, MODULACION Y TECNICAS  
DE ACCESO VIA SATELITE.**

**TRABAJO DE SEMINARIO**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A  
VICTOR MANUEL GARCIA JIMENEZ**

**ASESOR: ING. JUAN GONZALEZ VEGA**

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.**

**2000**



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 CUAUTITLÁN  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES



DEPARTAMENTO DE  
EXÁMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN  
PRESENTE.

AT'N: Q. MA. DEL CARMEN GARCIA MIJARES  
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, Modulación y Técnicas de Acceso  
Vía Satélite.

que presenta el pasante: Víctor Manuel García Jiménez,  
con número de cuenta: 7410172-0 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"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, a 2 de Mayo del 2000

MODULO:	PROFESOR:	FIRMA:
<u>I</u>	<u>Ing. Juan Gonzalez Vega</u>	<u>[Firma]</u>
<u>II</u>	<u>Ing. Jorge Ramirez Rodriguez</u>	<u>[Firma]</u>
<u>III</u>	<u>Ing. Vicente Magaña Gonzalez</u>	<u>[Firma]</u>

**MODULACION Y TECNICAS DE  
ACCESO VIA SATELITE**

**Gracias:**

A mi Padre que me supo guiar y orientar, que dio todo su esfuerzo por darme una preparación, a mi Madre que me dio cariño y amor, para tener una profesión, que no le di en vida, a ellos que me están guiando desde algún lugar del cielo.

A quienes me brindaron su apoyo, dedicación, tiempo, esfuerzo; por su comprensión, tolerancia y motivación a la realización personal que debe de lograr uno mismo, por la superación académica, tecnológica y cultural que es parte esencial del ser humano.

A mi esposa: Blanca

Que me tuvo paciencia y tolerancia para la realización de este trabajo.

A mi hijo: Víctor Manuel

Más que un hijo un amigo, porque me brindo su consideración y comprensión para la realización de esta tesis.

Al Ing. Juan González Vega

Gracias por el apoyo, las asesorías y el tiempo que me brindo.

## TEMARIO

INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
CONCEPTOS GENERALES	4
Ondas	4
Ondas transmisoras a través del aire	4
Ondas electromagnéticas	4
Polarización vertical	5
Polarización horizontal	5
CAPITULO II	
MODULACION	11
Modulación analógica	13
Modulación digital	25
CAPITULO III	
MULTIPLEXAJE	34
Multiplexaje por División de Frecuencia	34
Multiplexaje por División de Tiempo	34
CAPITULO IV	
TECNICAS DE ACCESO	36
FDMA	36
TDMA	42
CODIGO	46
CONCLUSIONES	48
GLOSARIO	49
BIBLIOGRAFIA	54

## INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones siempre han sido muy importantes en todos los aspectos ya que actualmente pueden mantener las conversaciones entre personas por muy lejos que estas 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 el uso de los satélites, las señales de comunicación, ya sea de telefonía, televisión o informática digital, han tenido un crecimiento y un auge sin precedentes. Todo satélite es un nodo o un punto intermedio de la red de comunicaciones de 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 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 algunos de los equipos mencionados, como son las estaciones caseras que sólo tienen un receptor y la antena. A diferencia de las estaciones de comunicaciones internacionales que son muy complejas y además tienen equipo redundante y en algunos casos cuando satisfacen necesidades prioritarias de comunicación se requiere que no dejen de funcionar por algunas posibles fallas 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 denomina sistema interrumpido de energía.

Además del hecho de que por lo general los componentes digitales son de costo menor que los analógicos, existen otras razones que quizás son más importantes, por lo que los sistemas de comunicación tanto militar como comercial se estén basando cada vez más en la tecnología digital. La diferencia o característica principal de un sistema de comunicaciones digital comparado con sistema analógico es que en el primero se transmiten una forma de onda determinada, de entre un número finito de formas de ondas posibles, mientras que en el caso de la comunicación analógica en 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. Cuando hablamos de señales de banda se sabe que la forma de onda a que se está haciendo referencia son pulsos, mientras que en las señales moduladas o de banda ancha la información a transmitir modula una forma de onda llamada portadora, la cual es entonces transmitida a través del canal de comunicación.

Las diferentes técnicas se basan en los tres parámetros básicos de toda onda senoidal: amplitud, frecuencia y fase. La modulación la podemos definir en dos categorías generales: analógica y digital. Dentro de la modulación analógica tenemos dos divisiones: angular y lineal. Los tipos básicos de modulación digital son los siguientes: manipulación por cambio de amplitud (ASK), manipulación por cambio de fase (PSK) y manipulación por cambio de frecuencia (FSK) y la ASK se conoce también como modulación "on-off" (OOK) y fue una de las primeras formas de modulación digital



usada para radio – telegrafía. En la FSK binario (BPSK), los cambios de fase son de  $180^\circ$  o  $\pi$  radianes. En la FSK el espaciamiento de la frecuencia de los tonos utilizados para representar un símbolo u otro depende del periodo de tiempo asignado para cada símbolo.

El acceso múltiple se define como la capacidad de un gran número de estaciones terrenas para interconectar sus enlaces de comunicación correspondientes a través de un satélite común. El acceso al satélite se clasifica por la asignación, ya sea casi permanente o temporal de la frecuencia o en el tiempo, es decir, acceso múltiple por división de tiempo (TDMA). De las diferentes técnicas de acceso, la FDMA es la que tiene el mayor uso de aplicación.

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 contabilidad, 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.

# CAPITULO I

## CONCEPTOS GENERALES

### ONDAS.

#### Ondas transmisoras a través del aire.

Las ondas sonoras pueden viajar a través de cualquier medio material con una velocidad que depende de las propiedades del medio. Cuando las ondas viajan, las partículas del medio vibran para producir cambios de densidad y presión a lo largo de la dirección de movimiento de la onda. Estos cambios originan una serie de regiones de alta y baja presión llamadas condensaciones y rarefacciones, respectivamente hay tres categorías de ondas mecánicas que abarcan diferentes intervalos de frecuencias: 1.- las ondas audibles (ondas sonoras) son las que están dentro del intervalo de sensibilidad del oído humano, por lo común, de 20 Hz a 20 000 Hz. 2.- las ondas infrasónicas son las que tiene frecuencias debajo del intervalo audible. 3.- las ondas ultrasónicas son aquellas cuya frecuencia está por arriba de del intervalo audible. La velocidad de las ondas sonoras depende de la compresibilidad y la inercia del medio.

#### Ondas electromagnéticas.

Si en un punto del espacio establecemos un campo eléctrico variable, este campo originaría, en puntos próximos, un campo magnético que siendo variable, dará origen a otro campo eléctrico en la vecindad y éste nuevamente inducirá otro campo magnético y así sucesivamente. Tendríamos por lo tanto la propagación de una perturbación electromagnética a través del espacio, constituido por los campos eléctricos (**E**) y magnéticos (**B**), siendo el uno generador para el otro. Marwell descubrió la propagación de esta perturbación y mostró que ella presentaría todas las características de un

movimiento ondulatorio, debiendo reflejarse, refractarse, difractarse e inferir exactamente como una onda.

### **Polarización vertical.**

Las emisoras de TV se hacen con frecuencia más elevadas que aquellas empleadas comúnmente por estaciones de radios, encontramos ondas electromagnéticas denominadas microondas cuyas frecuencias están comprendidas entre cerca de  $10^8$  Hz y  $10^{12}$  Hz estas ondas se usan comúnmente en telecomunicaciones para transportar señales de TV o conversaciones telefónicas y los programas de TV recibidos de otros países, vía satélite. La región que sigue el espectro electromagnético está constituido por rayos infrarrojos que son ondas electromagnéticas con frecuencia desde aproximadamente  $10^{11}$  Hz hasta cerca de  $10^{14}$  Hz.

### **Polarización horizontal.**

En la onda electromagnética se origina en cargas eléctricas aceleradas y según el valor de la frecuencia, recibe denominaciones diferentes. Estas denominaciones no tiene límites muy definidos. Así, las ondas electromagnéticas con frecuencias hasta de  $10^8$  Hz se denominan ondas de radio, se usan en estaciones de radio para realizar sus transmisiones y son emitidas por electrones acelerados en la antena de la emisora.

Las señales de comunicación (telefonía, televisión, datos 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 haber procesado debidamente. Lo primero que se hace en el proceso son amplificar las señales a un nivel

de frecuencia 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 su salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora se le da el nombre de transponedor, el subsistema de comunicación consta de muchos transponedores, 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 de frecuencias diferentes; el rango de frecuencia que hay entre frecuencia más baja y la frecuencia más alta de las que se transmiten se les denomina ancho de banda. Cuando mayor sea el ancho de banda de un equipo, éste será 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 otros 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 será amplificadas en distintos transponedores 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 de 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 equipo 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 a la de banda C, en este 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.

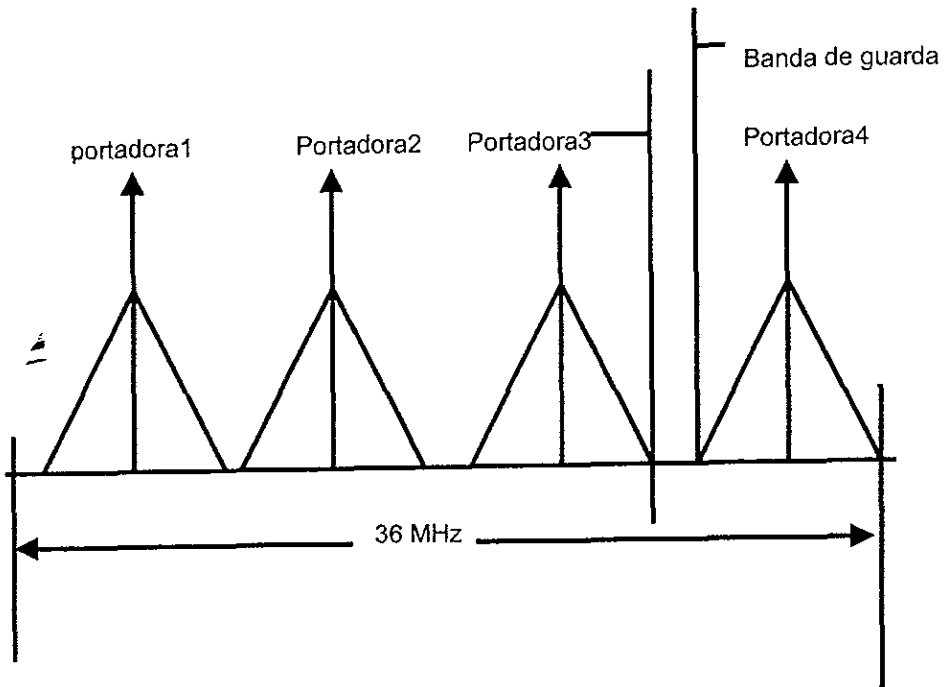
Dentro del transpondedor, el primer dispositivo electrónico importante por donde entran las señales recibidas por la antena es un amplificador de bajo ruido, el cual tiene ancho de banda muy grande, de 500 MHz, porque debe ser capaz de amplificar al mismo tiempo todas las señales recibidas por la antena.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

bloques de 36 MHz 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 500 MHz, por medio de un multiplexor que conecta a la antena transmisora del satélite. Pero también se instala un atenuador a la salida del multiplexor, éste sirve para disminuir a control remoto, y en distinto grado, la intensidad de bloques de señales que entran 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 intercomunicación 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 36 MHz de ancho de banda, es el siguiente figura 1.



**FIG.1.- TRANSPONDEDOR**

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 el ancho siempre es función del tipo de señales que se vayan a sus lados.

Todas las señales provenientes de la Tierra que llegan al satélite, después de haber sido procesadas por los transponedores 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 como **acceso múltiple**.



## CAPITULO II

### MODULACIÓN

#### Modulación.

La modulación es el producto mediante el cual los símbolos digitales son transformados en forma de ondas compatibles con las características del canal de comunicación y además permitir **multiplexar** o agrupar varias señales diferentes a través del mismo canal de comunicación. Algo básico en el campo de las comunicaciones es el concepto de modulación, que es el proceso de enviar información sobre una alta – frecuencia portadora para la transmisión. En esencia, la transmisión toma un lugar en las altas frecuencias (la portadora), la cual ha sido modificada para “transportar” las bajas frecuencia de información. Dichas frecuencias se denominan señales inteligentes o simplemente inteligentes. 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. Para la transmisión a larga distancia esas señales digitales de banda base, procedentes de la fuente, puede modular una portadora antes de la transmisión. El resultado se conocerá como **Manipulación por Medio de Amplitud (ASK)**, **Manipulación por Medio 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 varia de acuerdo con la señal de banda base.

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

- **(PSK) Manipulación por medio de fase (Phase Shift Keying),**
- **(FSK) Manipulación por cambio de frecuencia (Frequency Shift Keying),**
- **(ASK) Manipulación por medio de amplitud (Amplitud Shift Keying).**

Para estos caso existe 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 que lleva acabo el proceso de detección, presentándose un llamado “amarre” de fase entre el receptor y la señal entrante. 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 esta disponible en el receptor una señal periódica que este en sincronismo con la frecuencia transmitida de señales digitales (conocidas 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.

## **Modulación Analógica.**

La selección lógica de la técnica de modulación se ve influida por las características de la señal mensaje, las características del canal, el funcionamiento que desea obtener del sistema total de comunicación, el uso que se ha de hacer de los datos transmitidos y de los factores económicos que siempre son importantes en las aplicaciones prácticas. 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 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 dos estados posibles ("0" y "1"), dicho pulso o señal es fácilmente regenerado siempre y cuando no haya caído de cierto umbral de decisión.

El ruido y otras perturbaciones son mucho menores acumuladas 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 formateo adecuado a las señales o información analógica.

En el siguiente diagrama de bloques se muestra un sistema de comunicaciones digitales para diferentes tipos de información, figura 2.

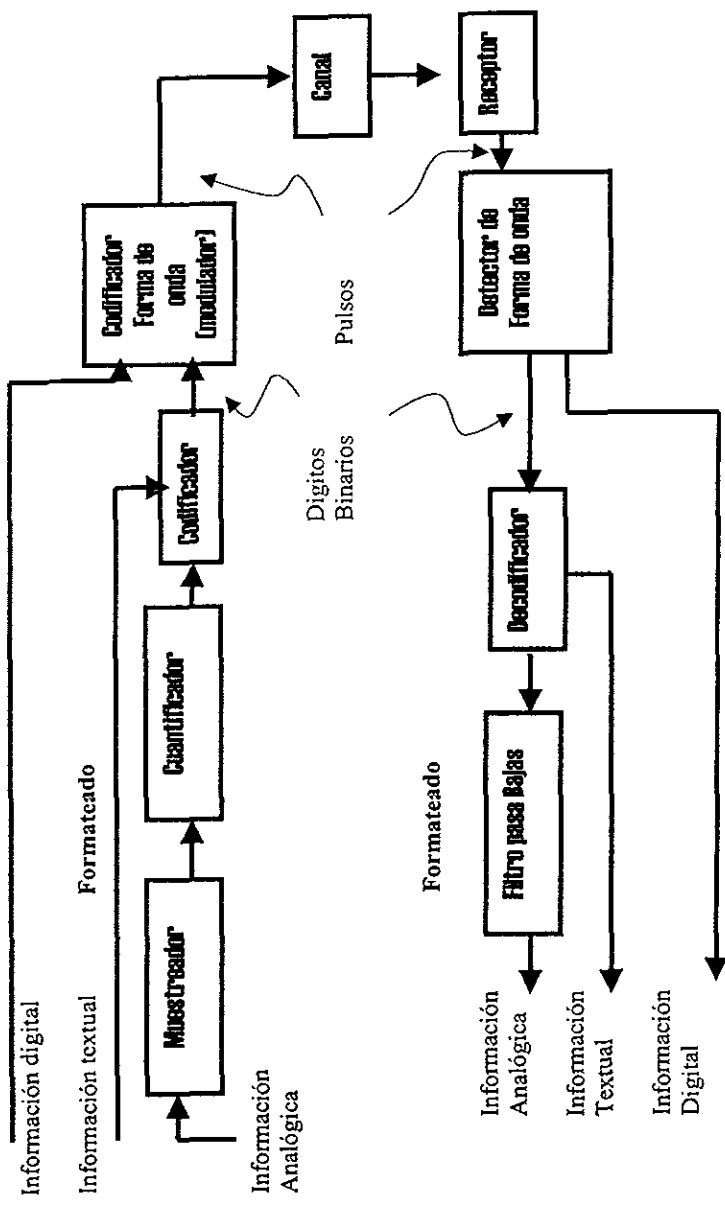


FIGURA 2.- SISTEMA DE COMUNICACIONES DIGITALES

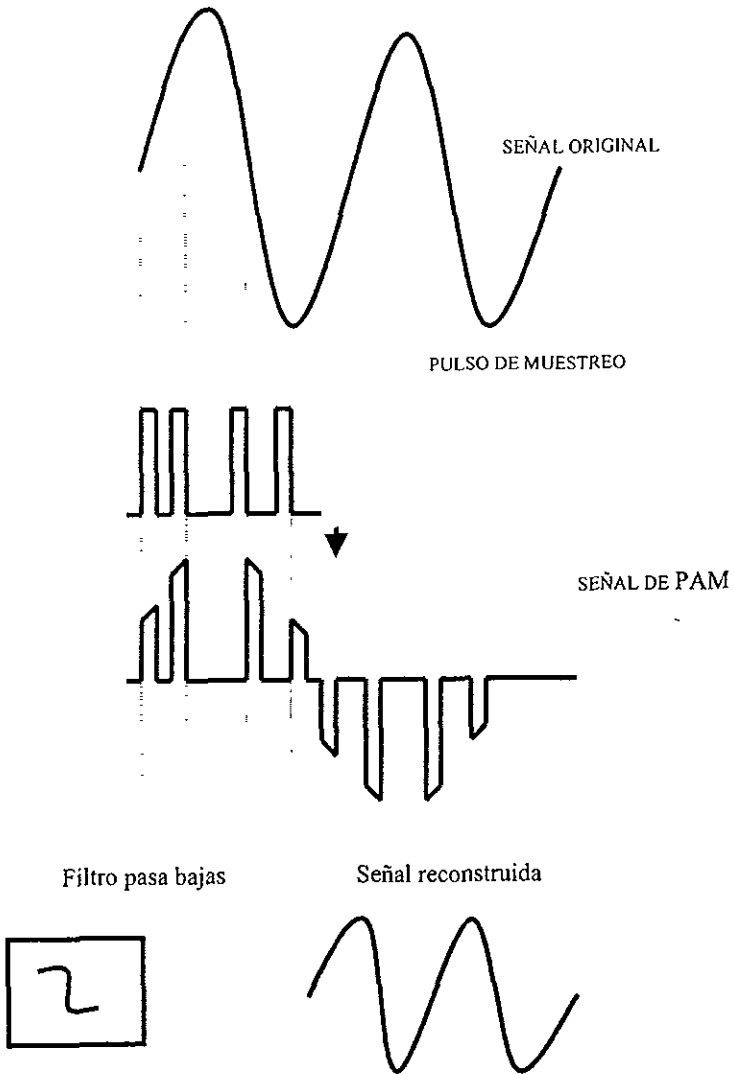
Como se observa, la información que ya tiene un formato digital entra directamente al modulador, mientras que la información textual es transformada a dígitos binarios mediante el codificador. Para el caso de la información analógica, el formateado de la misma requiere de tres pasos:

- Muestreo,
- Cuantificación,
- Codificación.

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

### **Muestreo.**

El proceso de muestreo consiste en tomar y analizar el valor que tiene una señal (muestra) a intervalos de tiempos regulares que se le denominan **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 señal de entrada durante el lapso de muestreo, como se observa en la figura 3.



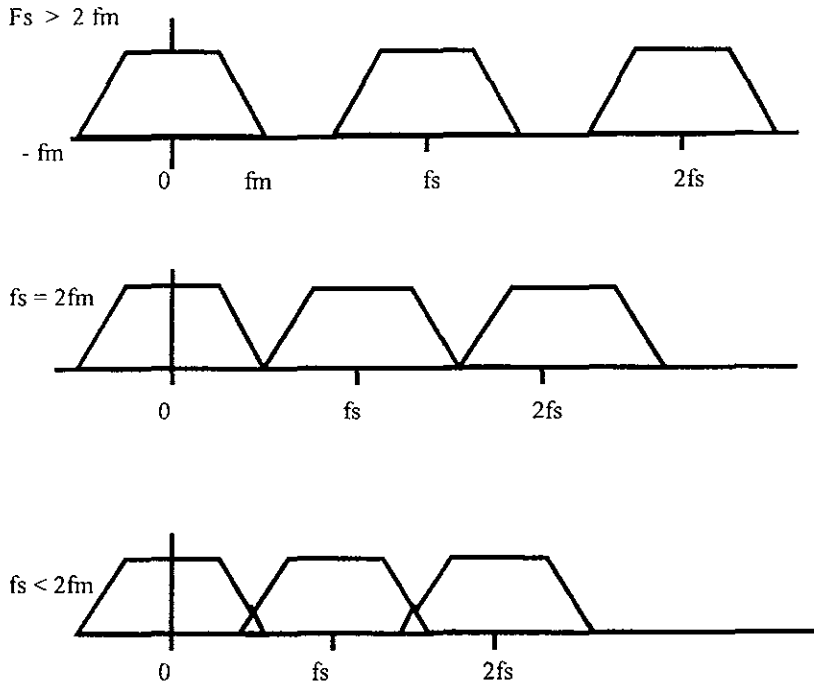
**FIG. 3.- SEÑAL MODULADOR POR AMPLITUD DE PULSO PAM**

## Muestreo instantáneo.

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, considere el muestreo instantáneo en el que todos los pulsos de la señal muestreada tienen la misma forma, pero con amplitudes proporcionales a los intervalos 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 muestra sea menor que  $\frac{1}{2} f_m$  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 sé determinar el grado de fidelidad con que la señal original puede ser reconstruida a partir del filtraje de la señal PAM. 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  $2 f_m$  muestra por segundo. 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  $f_s > 2 f_m$  se dice que existe un proceso de “sobre muestreo” (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 filtro pasa bajas que pueda ser implementado en la practica 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 "aliasing" (termino de ingles), como se puede observar en la figura 4.



**FIGURA 4.- TRASLAPAMIENTO ALIASING**

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 Retención (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.

-Cuantización 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 5.

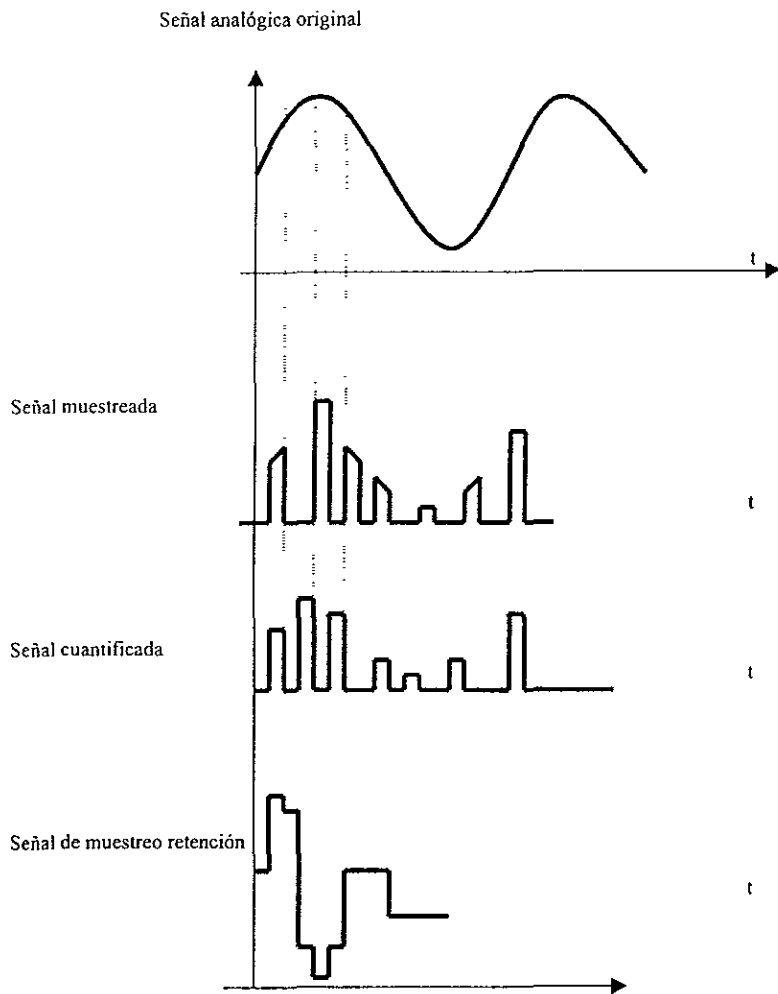


FIG. 5.- CUANTIZACIÓN DE PULSOS.

Entre más niveles de cuantificación 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 mayor ancho de banda del sistema.

### Cuantificación 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 analógicos digital (ADC), existen diferentes tipos de cuantizaciones 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 aproximación, 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.

## Codificación.

En la forma general, los sistemas de modulación se pueden dividir en dos clases: a), 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 del mensaje original 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. Y b), 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 incapaz 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 señal PAM codificando cada muestra cuantizada en una palabra digital denominado número de bits en forma proporcional al número de intervalos de cuantización utilizados, de acuerdo a la siguiente relación:

$$L = 2^n$$

donde:

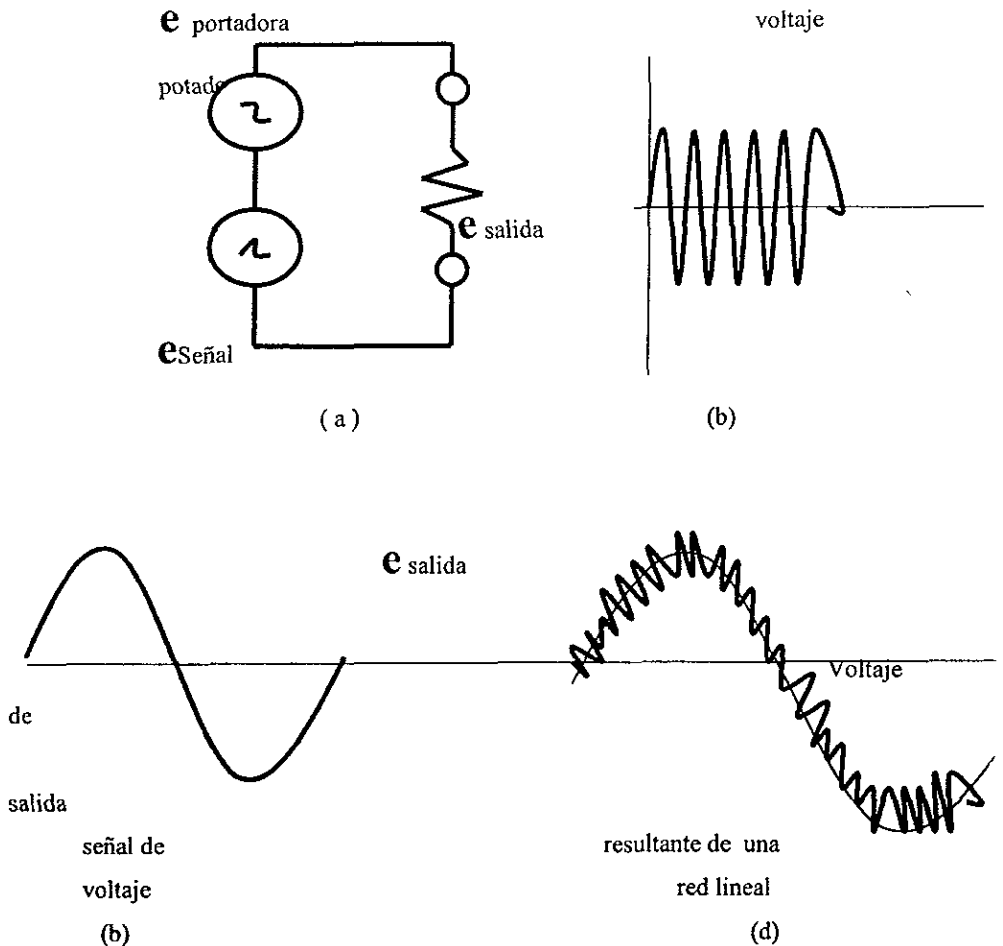
L = número de intervalos de cuantización,

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.

## Modulación de amplitud.

Combinando dos muy diferentes ondas de frecuencia senoidal, tales como una portadora e inteligente en una forma lineal, resulta en su simple adición algebraica tal como se muestra en la figura 6. Un circuito que podría ejecutar esta función es mostrado en la figura 6.1 (a). Las dos señales combinadas en un dispositivo lineal tal como en resistor. Desdichadamente el resultado, figura 6.1 (d) no es conveniente para transmisiones de forma de onda de amplitud modulada. Si este fuera transmitido la antena receptora sólo detectaría la señal portadora porque la componente de baja frecuencia inteligente no puede ser eficientemente propagada como una onda de radio.



**FIG. 6.- ADICIÓN LINEAL DE DOS ONDAS SENOIDALES**

El método utilizado para producir una señal de amplitud modulada es combinar la portadora y la inteligente a través de un dispositivo no lineal.

La figura 7, muestra gráficamente las dos ondas senoidales, niveles  $f_c$  y  $f_i$ , para representar la portadora y la inteligente. Pero si  $f_c - f_i$ ,  $f_c$ , y  $f_c + f_i$ , las componentes son removidas (quizás con un filtro para baja) las tres componentes izquierdas constituyen una forma de onda de amplitud modulada. Estas son referidas como:

- 1.- La frecuencia lateral inferior ( $f_c - f_i$ ).
- 2.- La frecuencia portadora ( $f_c$ ).
- 3.- La frecuencia lateral superior ( $f_c + f_i$ ).

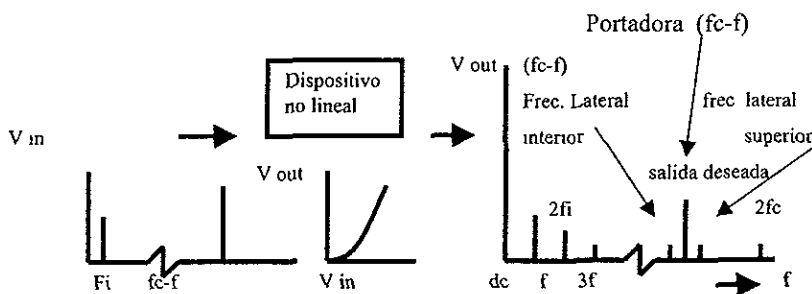


FIGURA. 7.- PROCESO NO LINEAL

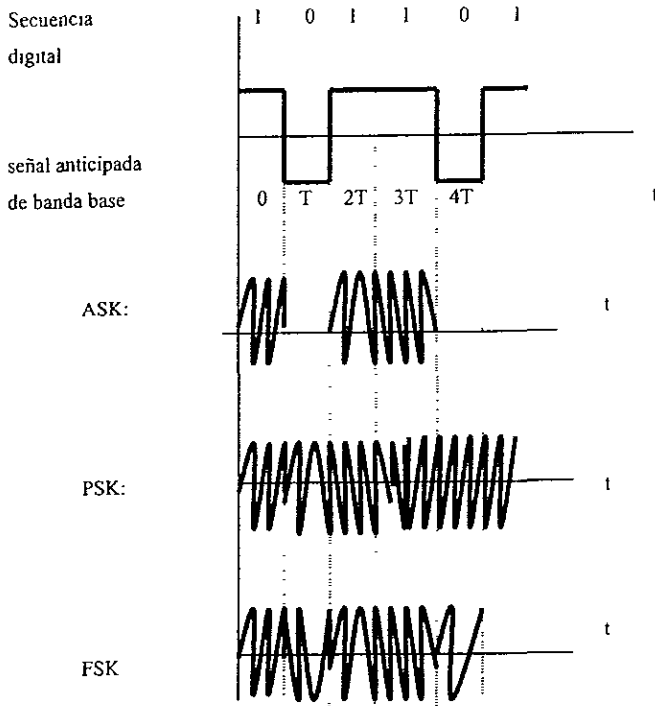
## Modulación Digital.

La modulación es el producto mediante el cual los símbolos digitales son transformados en formas de ondas 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, puede modular una portadora antes de la transmisión. El resultado se conocerá como manipulación por medio de amplitud (ASK), manipulación por medio 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 varia de acuerdo con la señal de banda base. Existe un número 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 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. Para los sistemas digitales de comunicación que emplean canales de pasa banda, resulta ventajoso modular una señal portadora con la

corriente digital de datos antes de la transmisión. Mencionadas anteriormente. Anteriormente nos preocupaban los efectos del ruido en los sistemas de comunicación. Ahora se considera un aspecto diferente. En lugar de señales mensaje continuas en tiempo y continuas en nivel, nos preocuparemos de la transmisión de información de fuentes que producen símbolos discretos. El propósito de este es el de considerar algunos sistemas para la transmisión de datos digitales y su funcionamiento relativo. Aunque muchas de las fuentes dan por resultado señales inteligentes que son inherentemente digitales, como son el telégrafo y las señales de computadoras, es a menudo ventajoso representar señales analógicas en forma digital para la transmisión y luego convertirlas de nuevo a formas analógicas en la recepción. La modulación por pulsos codificados (PCM), es un ejemplo de una técnica de modulación que se puede emplear para transmitir mensajes analógicos en forma digital. Sin que importe que una fuente sea puramente digital o una fuente analógica que se haya convertido a digital, puede ser provechoso añadir a quitar dígitos redundantes de una señal digital. Estos procedimientos, conocidos como codificación, se llevan a cabo por medio de los bloques de codificación y decodificación.

Para todos estos casos existen dos modalidades: de tipo coherente y de tipo no coherente. El término 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. A veces se emplean esquemas más complejos de modulación digital, pero se limitará la atención, a éstos tres. Las formas de onda típicas para estos tipos de modulación digital, se muestran en la fig 8.





**FIG. 8.- FORMATO DE ONDA PARA MODULACION ASK, PSK, FSK.**

Los sistemas de comunicación digital pasa banda, pueden ser divididos dentro de 2 categorías principales: sistemas digitales binarios y multiniveles (más de 2 niveles) de sistemas digitales. Las señales técnicas más comunes de pasabanda binarias están ilustradas en la figura 9.

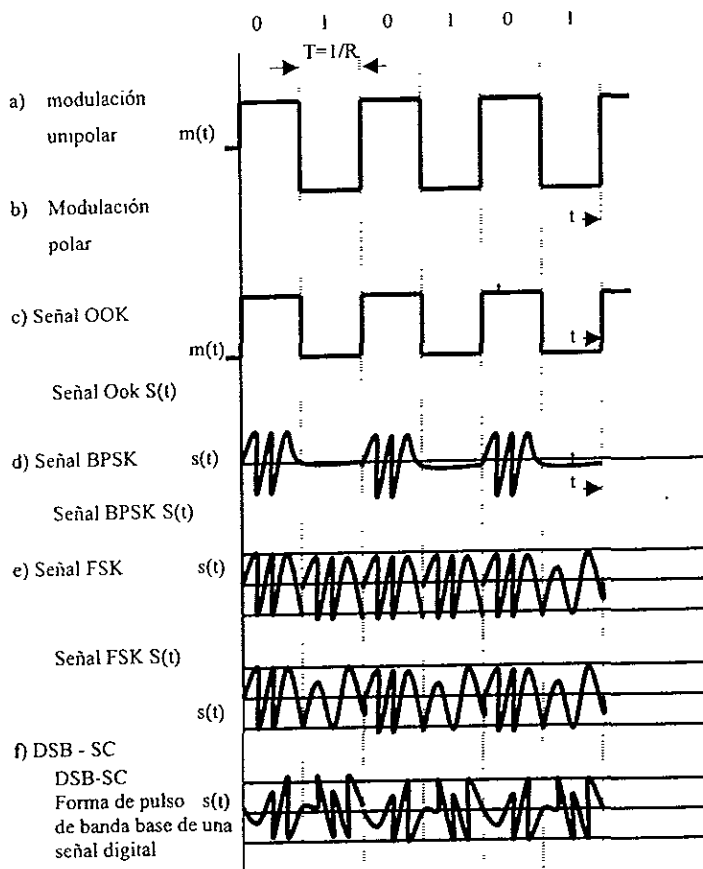


FIGURA. 9.- SEÑALES MODULADAS DIGITALMENTE CON PASABANDA

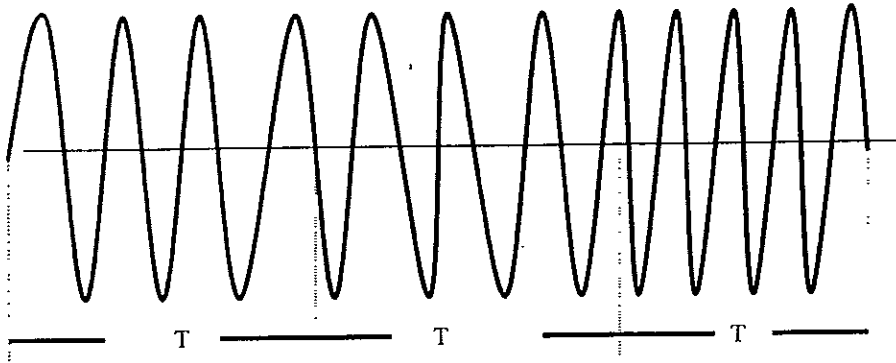
1.- On – off Keying (OOK), También llamada Manipulación por cambio de amplitud (ASK). Consiste en manipular la portadora senoidal encendido y apagado con una señal unipolar binaria idéntica a la modulación unipolar binaria en una señal DSB – SC.

2.- Manipulación de cambio de fase binaria (BPSK). Esta consiste en manipular la fase de una portadora senoidal  $0^\circ$  ó  $180^\circ$  con un signo unipolar binario. Esto es equivalente a producir señales PM con una forma de onda y es equivalente a modular una señal DSB – SC con una forma de onda digital polar.

3.- Manipulación por cambio de frecuencia (FSK). Consiste en manipular la frecuencia de una portadora senoidal desde una frecuencia marcada (corresponde por ejemplo a envío de un 1 binario) una frecuencia espaciada (corresponde al envío de un 0 binario) de acuerdo a la señal de banda base. Esto es idéntico a moldear una portadora FM con una señal digital binaria.

## Manipulación por Cambio de Frecuencia (FSK).

En esta modulación hay un cambio de frecuencias, ya que el espaciamiento de las mismas en los tonos utilizados para representar un símbolo u otro depende del periodo de tiempo asignado para cada símbolo ver figura 10.



**FIG. 10.- MANIPULACIÓN POR CAMBIO DE FRECUENCIA (FSK)**

La manipulación por cambio de frecuencia (FSK) es una forma de modulación de frecuencia en la cual los saltos de la onda demodulación de salida entre dos frecuencias predeterminadas usualmente marcan la señal y el espacio de la frecuencia. Este puede ser considerado como un sistema FM, en cual la frecuencia portadora está la mitad, entre la señal y el espacio de las frecuencias y este es modulado por una onda rectangular como se muestra en la figura 2.3. La condición de la señal ocasiona que la frecuencia portadora aumente en 42.5 Hz, mientras que la condición de espacio resulta en 42.5 Hz, saltos hacia abajo. De esta manera la frecuencia del transmisor es constantemente cambiada por 85 Hz, como si éste estuviera regulado. Este salto de 85 Hz es el estándar para la banda angosta FSK, mientras un salto de 850 Hz es el estándar para la banda ancha de los sistemas FSK figura 12.

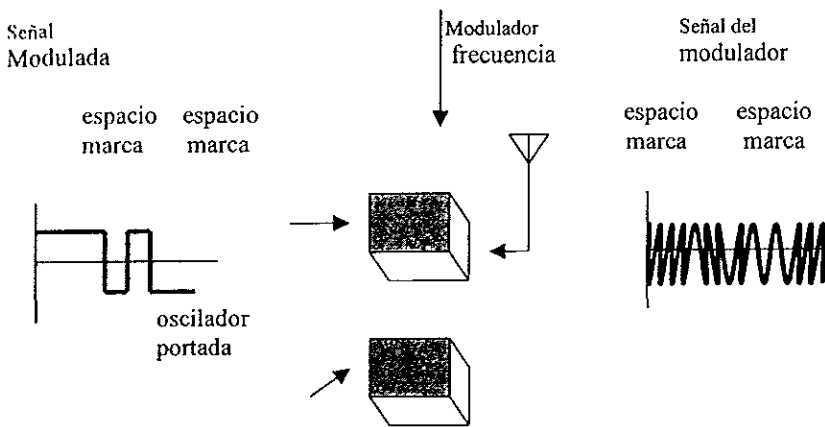


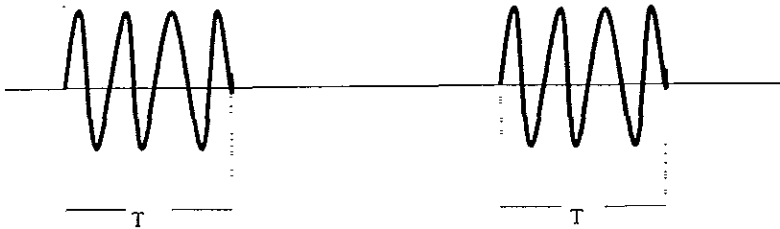
FIGURA 12.- TRANSMISOR FSX

En la práctica la mayoría de los sistemas de banda angosta FSK se utilizan en un canal de muchos Khz. Mientras que la banda ancha FSK se emplean a 10 – 20 Khz. A causa del angosto ancho de banda concierne, los sistemas FSK ofrecen solamente ligeras mejoras en la ejecución del sonido sobre los esquemas de modulación de dos tonos de AM. Sin embargo, el gran número de bandas laterales transmitidas en FSK permite mejores características en la ionosfera que los dos tonos de los esquemas de la modulación de AM.

### Modulación 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) figura 12. En la actualidad no es muy usada como los otros tipos de modulación básicos.



**FIGURA. 12.- MODULACION ASK**

### Modulación PSK.

Fue desarrollada en EU 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 antipolares figura 13.

Dos distintos procedimientos son comúnmente 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  $\Pi$   $\Pi$   $\Pi$  0  $\Pi$  0  $\Pi$

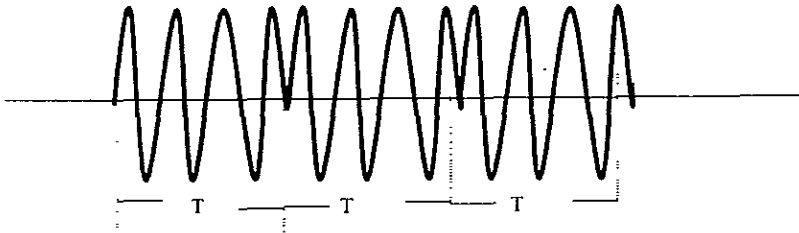
**Codificación diferencial:** Donde hay un mapeo uno a uno de los bits en el cambio de fase entre dos señales consecutivas de acuerdo a la siguiente regla

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  $\Pi$



**FIGURA. 13.- MODULACION PSK**

## CAPITULO III

### MULTIPLEXACION

#### **Multiplexación por Division de Frecuencia.**

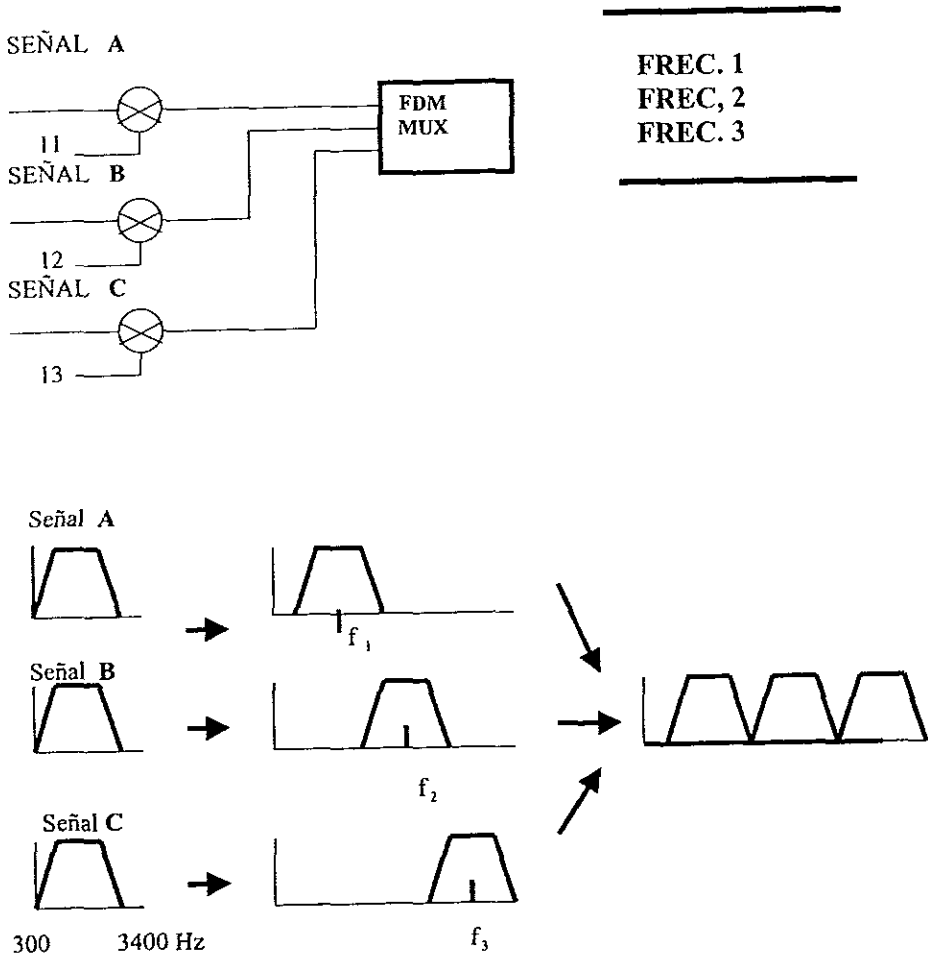
Es posible enviar varias señales simultáneamente, eligiendo una frecuencia portadora diferente para cada una. Estas frecuencias se eligen de forma que los espectros de las señales no se traslapen. Este método de transmisión se llama *multiplexación por división de frecuencias (FDM, Frequency Division Multiplexing)*. Esto consiste en situar los espectros de las señales de 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 frecuencia 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 tiempos (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 Division 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. Figura 14, un ejemplo de FDM se muestra a continuación;



**FIGURA 15.- MULTIPLEXACION POR DIVISION DE FRECUENCIA**

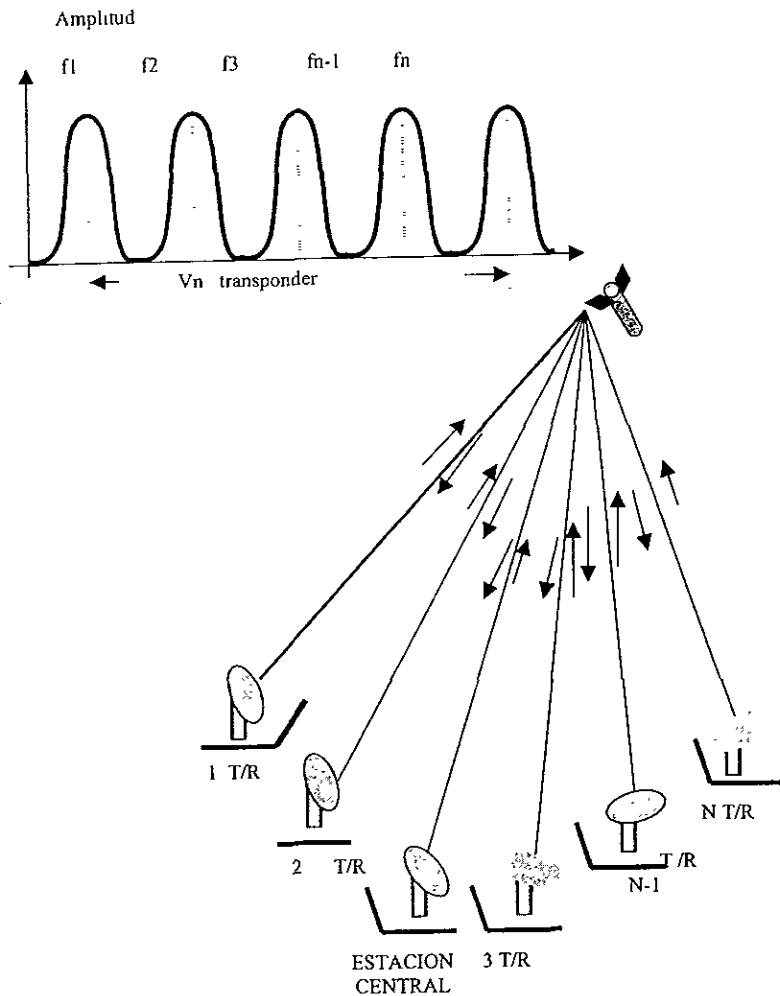
## CAPITULO IV

### TÉCNICAS DE ACCESO

#### Acceso Múltiple por Division de Frecuencias (FDMA).

Para conducir el tráfico es esta opción se utilizan los módem con sintetizador de frecuencias y numerosas portadoras de RF, esto es en súper alta – frecuencia (SHF). Esas ondas portadoras son en frecuencia de subcanal dentro de banda de un transponder de satélite. La técnica de basa en la práctica que se ha ejecutado y probado satisfactoriamente en telefonía por sistemas de microondas, donde se forman grupos y súper grupos aprovechando el multiplexaje por división de bandas de frecuencia. Fue la primer técnica de acceso múltiple y todavía domina las comunicaciones mundiales por satélite, como se muestra en la figura 15.

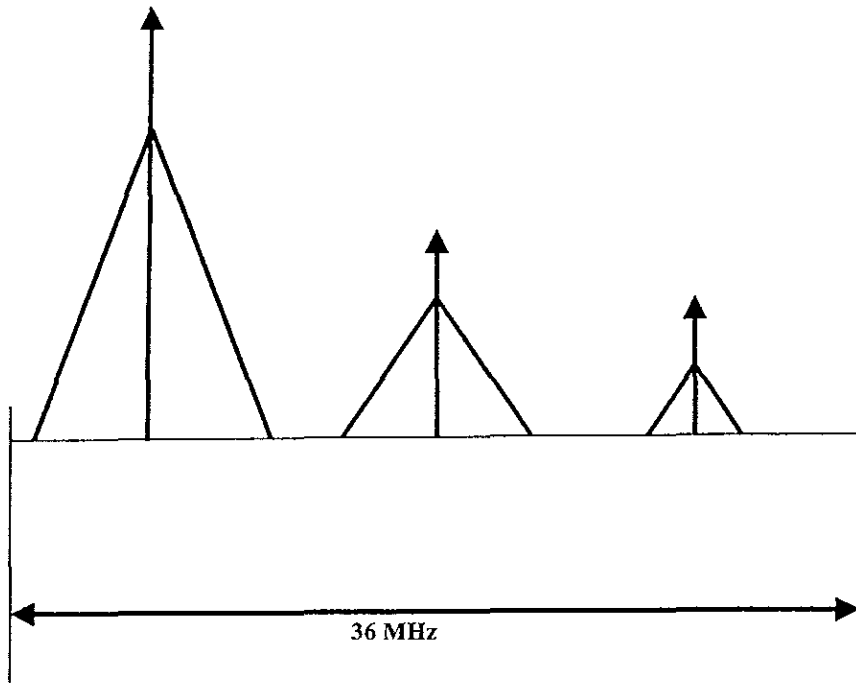
- a) Multi – Channel – Per – Carrier (MCPC) o Canal numerosos de usuarios por portadora. En esta categoría se puede dar solución a condiciones de tráfico intenso que justifiquen instalar sistemas FDMA con modulación digital (TDM / FDMA). Esto es, combinando multiplexaje por división de tiempo, cuyas señales digitales sucesivas pueden producir modulación de frecuencia o de fase de una onda portadora, donde se siga el principio de las técnicas conocidas como FSK y PSK.
- b) Single – Channel – Per – Carrier o Canal sólo de usuario por portadora. En algunos países se utiliza con modulación de frecuencias (FM), en tanto que en otros se han establecido métodos que efectúan modulación digital como PSK y PCM.



**FIG. 15.- TRANSMISIÓN (FDMA/SCPC) DE UN PUNTO A MULTIPUNTO EN AMBOS SENTIDOS ENTRE NUDO CENTRAL Y ESTACIONES REMOTAS**

Como ya se vio 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 quieran 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 frecuencia portadoras diferentes para que no haya interferencia. Si la suma de los anchos de banda que requiere tres estaciones individualmente da un total cercado a los 36 MHz, entonces las tres ocuparían simultáneamente el mismo transpondedor del satélite, separadas por bandas de guardia como se indica en la siguiente figura 18.



**FIG. 18.- BANDA DE GUARDA**

Esta forma de uso simultáneo del transpondedor por varias estaciones terrenas, este o no en la misma ciudad se le conoce como acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) ya que el espectro radioeléctrico del transpondedor se divide en secciones o ranuras de frecuencias asignadas a cada una de ellas, 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 le 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 Múltiple con Asignación 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 algún 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 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 solo canal telefónico modulado, a esta forma de transmisión se le llama canal único por portadora (SCPC).

Existen variantes en cuanto a la forma de ranuras 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 Múltiple por División 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 compone 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 asigne debe ser más larga que en la de las estaciones chicas, como se muestra en la figura 19.

Ranura compartida (equivalente  
transpondedor completo o una

Densidad de Potencia

a un  
fracción de él)

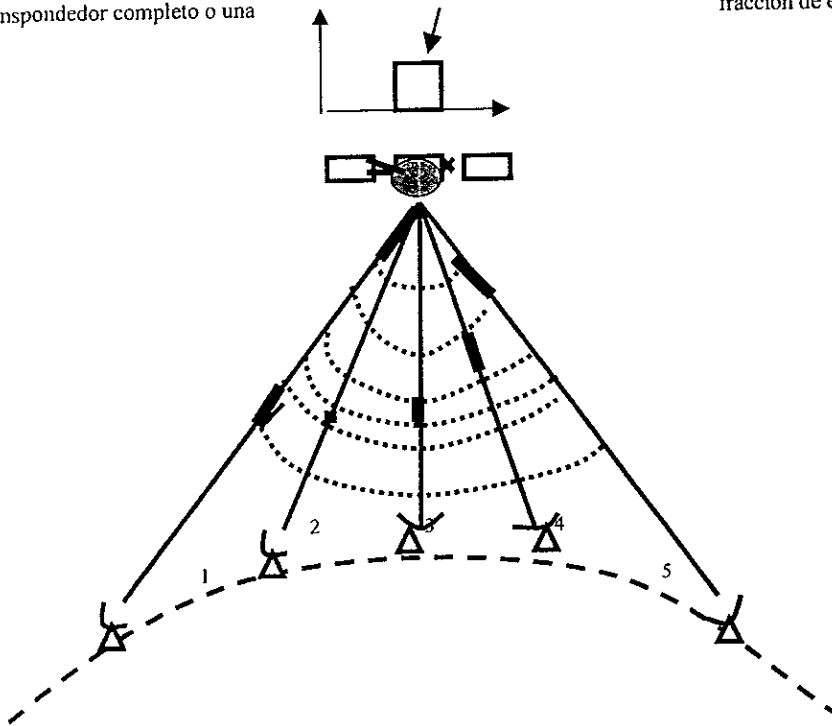


FIGURA 19.- ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE TIEMPO



Estos tiempos asignados pueden ser fijos por estación, en cuyo caso se tiene acceso múltiple por división de tiempos con asignación fija, o bien puede variar con el tiempo cuando algunas estaciones tengan exceso 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 una duración de una pequeña fracción de milisegundos, deben contar con módulos de almacenamiento de información digital, que liberan la información por paquetes en cada ráfaga

La modulación de TDMA que se utiliza en la práctica es la de ocupación del transpondedor completo por la portadora modulada y por consiguiente no hay ruido 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 comparten el ancho de banda del transpondedor en FDMA por los servicios prestados por otras estaciones independientes de la red TDMA, sin perderse de flexibilidad que brinda el sistema TDMA totalmente digitalizado, como se muestra en la figura 20.

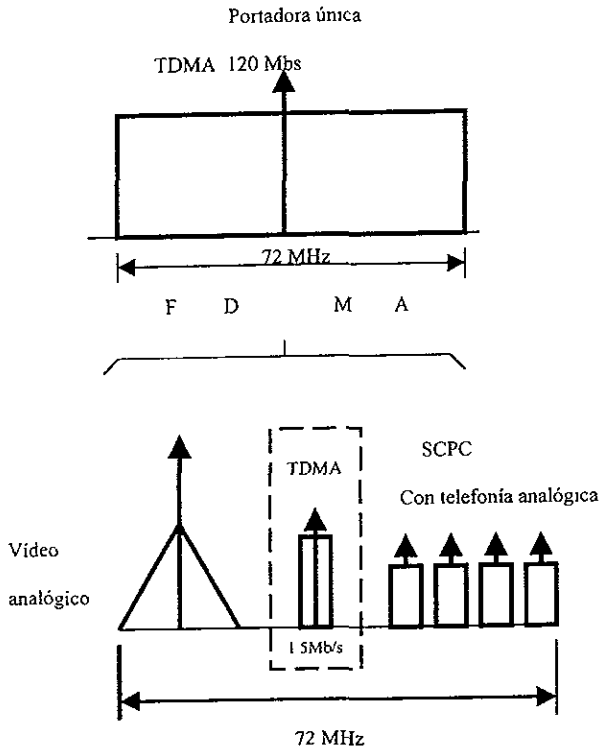


FIG. 20 MODULACION TDMA

La técnica TDMA, es 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 vídeo, 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 Múltiple por Diferenciación de Código.

De las técnicas de acceso múltiple FDMA y TDMA, que son las de mayor uso en los satélites comerciales de comunicaciones, además, existen una tercera técnica, en la que un transpondedor completo es ocupada 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 sensitivas 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 en 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 transforman en un nuevo tren de bits muy largo, de acuerdo con un código determinado previamente.

En la siguiente figura 21 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 capaz de reconstruir el mensaje original, aunque llegue traslapado con todos los demás mensajes que se transmitieron simultáneamente, pues estos últimos sólo los detecta como ruidos tolerantes.

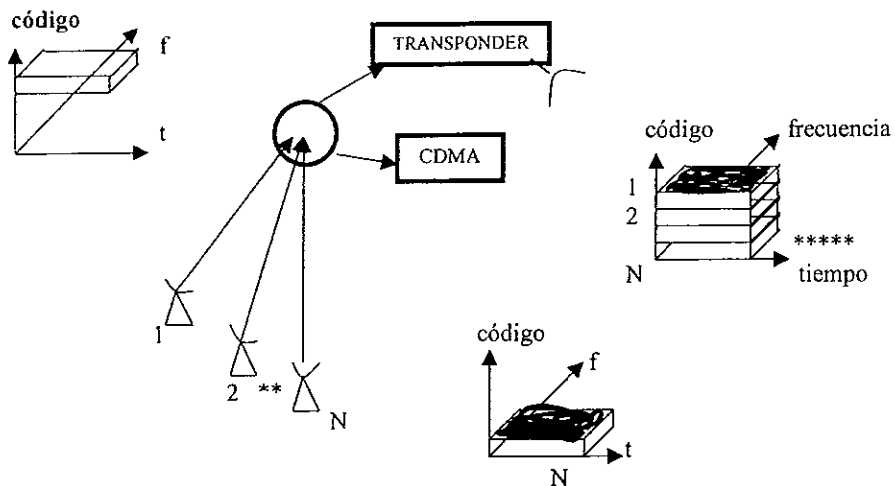
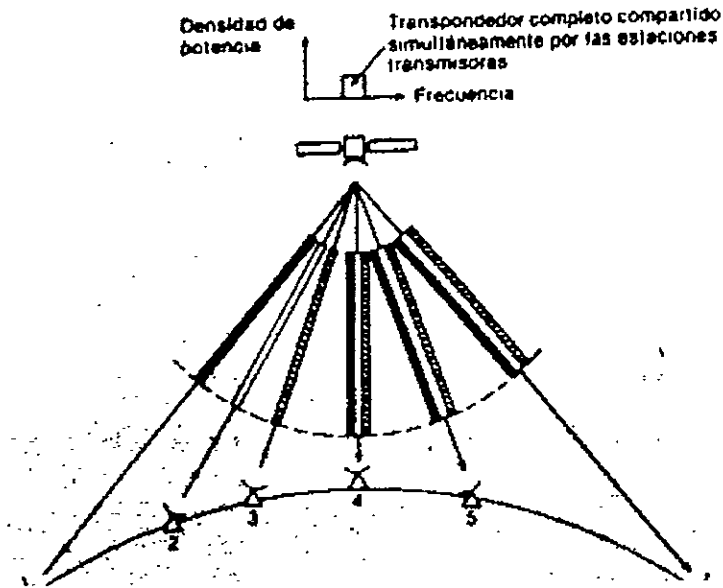


FIG. 21.- ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE CÓDIGO

Como el ancho de banda que utiliza el sistema de CDMA es muy amplio, por la expansión del espectro en frecuencia de la señal al codificar cada bit de información en un nuevo tren de bits, también se le llama acceso con espectro expandido (SSMA).

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 sistema 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 de un mismo haz, a la misma frecuencia, con señales de polarización ortogonales, estas pueden ser lineales o circulares. El satélite de Morelos era uno de los que operaban con éste tipo de reutilización de frecuencias.

## CONCLUSIONES

Las comunicaciones son importantes hoy en día, ya que han tenido un gran desarrollo, en la implementación de los medios de información, que van desde la fibra óptica, las microondas y los sistemas satelitales, ya que la transmisión de información ya no solamente es análoga sino digital. Los sistemas de comunicación por satélites son sistemas de relevo de microondas, similares a su contraparte terrestre. Excepto en raros casos, hay una estación repetidora intermedia. 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 puede mandar diferentes tipos de señales de comunicación, como lo son; telefonía, video e información digital de datos. Un satélite continuo de amplitud y frecuencia arbitrarios no transmite información (datos). Sin embargo, si el voltaje puede interrumpirse o la amplitud alterarse para que quede como una serie de pulsos que corresponden a alguna clase conocida, entonces la señal osciladora puede transmitir cierta información. En las comunicaciones de datos, este voltaje oscilador se conoce como señal portadora o sencillamente portadora. Esta portadora puede alterarse de muchas maneras. El proceso de cambiar alguna característica (amplitud, frecuencia o fase) de una señal portadora para transmitir información útil empleando esa señal se conoce como modulación. Los métodos más comunes de modulación son; modulación de amplitud, de frecuencia y de fase. Con éstas técnicas y modulaciones de transmisión se convierte al satélite en un aparato versátil ya que gracias a él puede haber enlaces de comunicación internacional muy eficiente ya sea voz, datos, video o a la vez.

## GLOSARIO

<b>AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO</b>	Primer dispositivo importante por el que entran las señales recibidas por la antena, el cual tiene un ancho de banda de 500 MHz.
<b>AMPLITUD</b>	Valor pico a pico de una señal senoidal.
<b>ANALOGO</b>	Término relacionando a la representación por medio de cantidades que varían continuamente, por ejemplo voltajes y frecuencias variables, etc.
<b>ANCHO DE BANDA</b>	Es el intervalo a través del cual la magnitud de la respuesta permanece dentro de un rango de valores determinados.
<b>ARMONICA</b>	Sus frecuencia son múltiplos exactos de la frecuencia exactos de la frecuencia fundamental.
<b>ASK</b>	Cierto tipo de modulación digital en el que hay un cambio en la amplitud de la señal.
<b>ASINCRONO</b>	Que tiene un intervalo variable entre bits, caracteres o eventos sucesivos. En la transmisión de datos asincrónica, cada carácter se sincroniza individualmente, por lo general, con bits de arrancada y parada.
<b>ATENUACIÓN</b>	La diferencia entre la potencia y la recibida debido a pérdidas en el equipo, líneas u otros dispositivos de transmisión.
<b>AUTOSINCRONIZACIÓN</b>	Esta propiedad permite el receptor sincronizarse al nivel de bits con la señal de entrada, sin necesidad de que exista otra señal de sincronización.
<b>BANDA ANCHA O SEÑAL MODULADA</b>	La información a transmitir modula una forma de onda senoidal llamada portadora, la cual es transmitida del canal de comunicación.
<b>BANDA BASE</b>	La banda de onda a que se hace referencia son pulsos.

<b>BAUD</b>	Una unidad de velocidad de señal igual al número de condiciones o eventos de señal discretos por segundo.
<b>BANDA DE GUARDA</b>	Cierta frecuencia que se deja entre dos señales portadoras para disminuir o reducir la interferencia entre ambas.
<b>BIT</b>	Abreviatura de las palabras "binary digit" (dígito binario). Un solo carácter en un número binario. Un solo impulso en un grupo de impulsos. Una unidad de capacidad de información de un dispositivo de almacenamiento.
<b>CANAL</b>	Un camino para transmitir señales electromagnéticas. Es sinónimo de línea y eslabón (o enlace).
<b>CANAL ANALOGO</b>	Un canal en el que la información transmitida puede tomar cualquier valor entre los límites definidos por el canal.
<b>CODIFICACIÓN</b>	Expresa una señal en un código diferente o poner restricciones a una señal digital.
<b>CODIGO</b>	Una transformación o representación de información de manera distinta, de acuerdo con algún conjunto de convenciones preestablecidas.
<b>COHERENTE</b>	Se llama así a un sistema digital. Si está disponible una frecuencia local de demodulación, que esté en fase con la portadora transmitida.
<b>CONVERTIDOS DE FRECUENCIAS</b>	Oscilador local que multiplica las señales que entran en otra generada internamente, obteniéndose las señales desplazadas a frecuencias más bajas.
<b>CUANTIZACIÓN</b>	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, afinar el valor discreto más cercano para cada muestra.
<b>CDMA</b>	Técnica de acceso múltiple por diferenciación de código.
<b>DECIBEL (Db)</b>	Es la relación o razón entre dos niveles de potencia existentes en dos puntos.



<b>DEMODULACION</b>	Procesos por el cual se remueve la señal portadora de la información transmitida.
<b>DEMULTIPLEXOR</b>	Dispositivo electrónico mediante el cual entra una señal y a la información transmitida.
<b>EFICIENCIA DE TRANSMISIÓN</b>	La relación, por lo general, expresada en términos de porcentaje, que se obtiene dividiendo la información útil transmitida entre la información total transmitida.
<b>ESTACION TERRENA</b>	Estación que en una serie de equipos interconectados entre sí, como lo son un transmisor, un receptor, antena y equipo de rastreo para el satélite.
<b>FASE</b>	Relativo a la sincronización de una señal alterna. Dos señales pueden tener amplitud y frecuencias idénticas, pero pueden definir en fase si una se atrasa con respecto a otra en un valor que no sea un múltiplo de la frecuencia.
<b>FORMATEO DE LA SEÑAL</b>	Procesar la señal de tal manera que permita que la señal de origen sea compatible con el procesador digital.
<b>FRECUENCIA</b>	Número de periodos por segundo de un movimiento vibratorio.
<b>FDMA</b>	Técnica de acceso múltiple por división de frecuencia.
<b>FSK</b>	Codificación por crecimiento de frecuencia. Un método de transmisión en que la frecuencia de la portadora se corre hacia arriba y hacia debajo de un valor medio de acuerdo con la señal binaria; una frecuencia representa un cero binario.
<b>INTERFERENCIA INTERSIMBOLICA</b>	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.
<b>HERTZ</b>	Unidad de frecuencia que equivale a la frecuencia de un fenómeno periódico cuyo período es 1 segundo.
<b>MODULACIÓN</b>	La alteración en algunas características de una señal portadora imprimiéndole una señal de información.

<b>MODULACIÓN DE AMPLITUD</b>	Forma de modulación en que se varía la amplitud de la portadora de acuerdo con el valor instantáneo de la señal modulada.
<b>MODULACION DE FASE</b>	Forma de modulación en que se varía la fase de la señal moduladora.
<b>MODULACION DE FASE</b>	Forma de modulación en que se varía la fase de la portadora de acuerdo con el valor instantáneo de la señal moduladora.
<b>MODULACION DE FASE</b>	Forma de modulación en que se varía la frecuencia de la portadora de acuerdo con el valor instantáneo de la señal moduladora.
<b>MUESTREO</b>	Consiste en tomar y analizar el valor que tiene una señal (muestra) a intervalos de tiempo regulares(velocidad de muestreo).
<b>MULTIPLEXOR</b>	Dispositivo electrónico en el cual entran varias señales y a la salida se tiene una sola.
<b>PAM</b> (Modulación por amplitud de pulso)	Es la señal resultante del proceso de muestreo. Consiste en una secuencia de pulsos cuya amplitud es aquella señal de entrada durante el lapso de muestreo.
<b>PERIODO</b>	Espacio de tiempo después del cual se reproduce una señal.
<b>PMC</b>	Es la técnica y el nombre con que se conocen las señales de banda 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 utilizados de acuerdo a $L = 2^n$ .
<b>PORTADORA</b>	Una frecuencia continua que puede modularse con una segunda señal que lleva (porta) información.
<b>QPSK</b>	técnica de modulación digital que se lleva a cabo en cuadratura los pulsos bipolares originales de manera que se obtengan en forma separada los bits pares y los bits impares.

<b>RADIOFRECUENCIA</b>	Frecuencia superior a 10,000 ciclos por segundo. Las ondas portadoras entran en la radiofrecuencia.
<b>SEÑAL ANALOGICA</b>	Varía en forma continua en el tiempo, es decir, tiene un valor definido para cualquier momento.
<b>SEÑAL DIGITAL</b>	Una señal discreta o discontinua Corresponden a los datos en forma de dígitos como ceros y unos.
<b>SISTEMA SINCRONO</b>	Si está disponible en el receptor una señal periódica que esté en sincronismo con la secuencia transmitida de señales digitales (conocida como reloj).
<b>TRANSPONDER</b>	Son repetidores de microondas portadoras de comunicaciones por satélite.
<b>TDMA</b>	Técnica de acceso múltiple por división de tiempo.

## BIBLIOGRAFIA

### INTRODUCCION A LA TEORIA Y SISTEMAS DE COMUNICACION

B. P. Lathi  
Editorial Limusa  
Décimo segunda impresion  
Mexico, 1993

### MODERN ELECTRONIC COMMUNICATION

Miller, Gary  
4ª. Edición  
U S A 1993

### SISTEMA DE Comunicación

Ferrel G. Strembler  
Fondo Educativo Interamericano 1985.

### SISTEMAS ELECTRONICOS DIGITALES

Sanchez, Rafael  
1ª Edición  
México, D.F.. 1988

### SISTEMA DE Comunicación

B. P. Lathi  
Nueva Editorial Interamericana 1986

### DIGITAL COMMUNICATIOIS

Satélite/earth station engineering  
Feher, Kamb  
1ª Edición  
U.S.A., 1983  
Prentice Hall

### SATELITE COMMUNICATIONS SYSTEMS

G. Maral y M Bousquet  
John Wiley & Son 1988

### DIGITAL AND ANALOG COMMUNICATIONS SYSTEMS

Couch, Leon W.  
2ª. Edicicion  
U.S.A , 1983  
Macmillan

### FUNDAMENTOS DE COMUNICACIONES DE DATOS

Jerry FitzGerald  
Editorial Limusa  
México 1981

### FUNDAMENTOS DE COMUNICACIONES DIGITALES

Teledata Technology 1993

### SATELITES DE COMUNICACIONES

Rodolfo Neri Vela  
Editorial McGraw Hill  
Primera edición

### COMMUNICATION SYSTEMS

Carlson, Bruce  
3ª edición  
U.S.A , 1988  
Prentice Hall

### PRINCIPLES OF COMMUNICATION SYSTEMS

Taub, Herbert  
Schilling, Donal  
2ª edición U.S.A., 1986  
McGraw Hill