

106  
21



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**COMUNICACIONES.  
TECNICAS DE TRANSMISION AL SATELITE.**

**TRABAJO DE SEMINARIO**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**  
**P R E S E N T A :**  
**JUAN MARQUEZ ORTEGA**

**ASESOR: ING. JUAN GONZALEZ VEGA**

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

**1997**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

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

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN  
P R E S E N T E .

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

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

Comunicaciones. Técnicas de transmisión al satélite.

que presenta el pasante: Márquez Ortega Juan

con número de cuenta: 8701520-1 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.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Comisión Local, Edo. de México, a 7 de enero de 1997.

MODULO:

PROFESOR:

FIRMA

Transmisión por fibra óptica.

Ing. Francisco Tallitad López

Transmisión vía satélite.

Ing. Juan González Vega

Transmisión de microondas digitales.

Ing. Alfonso Contreras Márquez

Auténtico y legalizado

DEP/VBOSEM

*Gracias a Dios por permitirme concluir mi formación profesional.*

*A la memoria de mi padre: quién ahora y siempre reclamo, quién me ha hecho mucha falta, pero que también, tengo fe en Dios que ha de permitirle ver que desde siempre hemos luchado por ser buenos hijos, que hemos hecho de ésta, la familia que seguramente siempre quiso tener y que el logro que obtengo el día de hoy se lo dedico con todo cariño como una prueba más de nuestro esfuerzo, algo que talvez nunca imaginó, pero que seguramente lo enorgullece y le da gracias a Dios.*

*Deseo expresar todo mi cariño y agradecimiento a mi madre: quién trabajó tanto para que yo estudiara, quién ha luchado toda su vida por sacarnos adelante... y ahora se que de alguna manera, ve que todo su esfuerzo no fue en vano. Gracias por haberme inculcado los valores suficientes para seguirme superando y por enseñarnos que la unidad familiar es el secreto indispensable en la vida para seguir avanzando.*

*A mis hermanos: porque se que no ha sido fácil tener que superar día a día las adversidades que nos ha impuesto la vida desde cuando fuimos niños, que si nos privamos de muchas cosas, el día de hoy hemos obtenido una parte más de lo que hemos estado construyendo juntos. Gracias por brindarme todo su apoyo, gracias: Queta, Mingo, Trini y Gollita, por que se que cuento con todos ustedes.*

***A la memoria de mi abuelita: quién fue una persona invaluable, quién no sólo cuidó de mí y de mis hermanos, quién no sólo se preocupó... , sino que también fue mi madre.***

***A la memoria de mi tío Silvano: a quién recuerdo con mucho cariño y que ahora también está conmigo, como alguna vez cuando niño, pues yo sé que en el fondo, él nos quiso mucho más de lo que simplemente pudiéramos imaginar.***

***A mi tía Celia: quién ha estado con nosotros en todo momento brindándonos su apoyo y comprensión.***

***Gracias a mi Universidad, la Máxima Casa de Estudios y en particular a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan, así como también a mis profesores quienes contribuyeron en mi formación profesional.***

**INDICE.**

	pág.
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>5</b>
<b>LAS TELECOMUNICACIONES.</b>	
<b>1. MEDIO DE TRANSMISION .....</b>	<b>8</b>
1.1. EL ESPACIO ATMOSFERICO COMO MEDIO TRANSMISION.....	8
1.2. PROPAGACION DE LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS.....	11
1.3. VELOCIDAD DE TRANSMISION.....	19
<b>2. TECNICAS DE MODULACION.....</b>	<b>22</b>
2.1. FUNDAMENTOS DE LA MODULACION.....	22
2.1.1. ESTRUCTURA DE UNA ONDA MODULADA.....	23
2.2. MODULACION ANALOGICA.....	24
2.2.1. MODULACION EN AMPLITUD.....	25
2.2.2. MODULACION EN FRECUENCIA.....	28
2.2.3. MODULACION EN FASE.....	31
2.2.4. BANDAS LATERALES.....	34
2.2.5. BANDA LATERAL UNICA.....	36

	pág.
<b>2.3. MODULACION DIGITAL</b> .....	<b>37</b>
<b>2.3.1. MODULACION ASK</b> .....	<b>38</b>
<b>2.3.2. MODULACION FSK</b> .....	<b>39</b>
<b>2.3.3. MODULACION PSK</b> .....	<b>40</b>
<b>2.3.4. MODULACION QAM</b> .....	<b>44</b>
<b>2.3.5. MODULACION PCM</b> .....	<b>45</b>
<b>3. TECNICAS DE MULTIPLEXAJE</b> .....	<b>51</b>
<b>3.1. MULTIPLEXAJE POR DIVISION DE FRECUENCIA. FDM</b> .....	<b>51</b>
<b>3.2. MULTIPLEXAJE POR DIVISION DE TIEMPO. TDM</b> .....	<b>53</b>
<b>4. FINALIDAD Y FUNCIONALIDAD DEL SATELITE</b> .....	<b>55</b>
<b>4.1. EL TRANSPONDEDOR</b> .....	<b>60</b>
<b>5. TECNICAS DE ACCESO MULTIPLE AL SATELITE</b> .....	<b>64</b>
<b>5.1. ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE FRECUENCIA. FDMA</b> ....	<b>65</b>
<b>5.2. ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE TIEMPO. TDMA</b> .....	<b>68</b>
<b>5.3. ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE CODIGO. CDMA</b> .....	<b>70</b>

**INDICE** ..... 4

**pág.**

**CONCLUSION**..... 74

**GLOSARIO**..... 76

**BIBLIOGRAFIA**..... 80

***INTRODUCCION.***

**Las telecomunicaciones.**

**En casi todos los países del mundo, se están haciendo grandes inversiones en materia de comunicaciones para poder estar al día en cuanto a tecnología de punta, los más importantes avances se dan con el lanzamiento de nuevos satélites artificiales que ofrecen mayor cobertura, seguridad y rapidez en la transferencia de información, así como en el tendido de líneas telefónicas basadas en fibras ópticas; ya que éstas permiten la transmisión de datos a grandes velocidades en forma de pulsos luminosos libres de interferencias electromagnéticas, evitando los cruces en la comunicación. Y debido a que en la fibra óptica la pureza del cristal es tan grande que permite el paso de la luz durante varios kilómetros sin pérdida de señal, la convierte en un verdadero competidor de los satélites artificiales.**

**Si embargo, debido a las nacientes redes móviles y el incremento en las aplicaciones tradicionales para larga distancia seguirán existiendo rutas en las que la implementación del enlace mediante el satélite de comunicación será la mejor opción económica por ser un medio de comunicación que utiliza como medio de transmisión el espacio atmosférico permitiendo llegar a aquellos lugares**

de difícil acceso o donde resultaría demasiado costoso la comunicación mediante el tendido de hilos de cobre u otro material como la fibra óptica.

También, los satélites de comunicaciones poseen una gran capacidad de transmisión de información, al trabajar en la amplia banda de los gigahertzios. Cada satélite es capaz de soportar varios miles de canales telefónicos. Por ejemplo, un satélite moderno que incluye diez transpondedores, cada uno de ellos con una capacidad de 48 millones de bits por segundo, tendrá una capacidad total que asciende a casi medio millón de bits por segundo, con lo que no deja de ser un atractivo medio de comunicación.

Por otro lado, la gran capacidad que hoy en día ofrecen los medios de comunicación, lo deben en gran parte al cambio de la tecnología analógica a digital, que si bien, ofrecen importantes ventajas técnicas en los equipos digitales, también facilitan la transmisión de grandes volúmenes de información mediante un mismo medio de transmisión. Sin que esto quiera decir, por su puesto, que la tecnología analógica haya sido desechada por completo, pues como veremos a lo largo de este trabajo; es indispensable aún en las transmisiones digitales. En lo que se refiere a la transmisión de información, hoy en día; se emplea una combinación de señales analógicas y digitales, es

decir, se han implementado nuevos *métodos o técnicas de transmisión*, con el fin, no sólo de aumentar la capacidad del medio de comunicación, sino también de maximizar la calidad en las transmisiones a su vez que se disminuyen los costos que estas implican.

Por ello, después de analizar las características más importantes del *medio de transmisión* (el espacio atmosférico), en el primer capítulo; el cual indudablemente cobra mucha importancia en cualquier radioenlace de comunicación, he dedicado, por su parte, el segundo capítulo de este trabajo para explicar, las diferentes *técnicas de modulación* mediante las cuales es preparada la información; que posteriormente será enviada a través de espacio teniendo como objetivo el satélite de comunicación, al mismo tiempo que se comenta la forma en que es recuperada esta información previamente tratada en la estación terrena de transmisión. Y por último, pero no por ello menos importante, en los capítulos restantes se exponen los *técnicas de multiplexaje* así como las técnicas más usuales de *acceso al satélite*.

## ***I. MEDIO DE TRANSMISION.***

La transmisión de datos en forma de señales eléctricas requiere el uso de algún tipo de medio de transmisión, conocido también como "línea". Mientras que este medio puede tomar la forma de algún tipo de cable de cobre, podría ser también un rayo de luz que pasa a través de una línea de fibra de vidrio o incluso señales de radio.

La transmisión por microondas transporta la información en forma de ondas de radio a través de la atmósfera (o espacio atmosférico).

### **1.1.EL ESPACIO ATMOSFERICO COMO MEDIO DE TRANSMISION.**

El protagonista principal en cualquier comunicación a distancia es indudablemente *el medio de transmisión* sobre el que ésta tiene lugar. El costo de una comunicación de larga distancia puede atribuirse en su mayor parte a los medios de transmisión, mientras que en el caso de comunicaciones a cortas distancias el peso fundamental de los costos recae sobre los equipos de comunicaciones.

Sin embargo, en las comunicaciones vía satélite, las que en su mayoría son de larga distancia, el costo recae fundamentalmente en el equipo de transmisión, por ser un medio de comunicación que usa como medio de transmisión el espacio atmosférico, el precio se mantiene por lo general invariante para cualquier distancia.

Los satélites de comunicación se enlazan con las estaciones terrenas mediante ondas espaciales, las cuales pueden transmitir señales a largas distancias. Estas ondas espaciales, en su trayecto se ven afectadas por la capa ionosférica, en la cual, las propiedades del aire ionizado dependen de varios factores, tales como la temperatura, la hora del día y la estación del año, además de que su carga eléctrica repele las ondas de radio, refractándolas hacia la tierra.

Sin olvidar, que aún el propio satélite estando por encima de la capa ionosférica, no escapa a estas condiciones adversas del espacio atmosférico. El satélite de comunicación, por lo tanto, se expone a partículas cósmicas, radiación ultravioleta proveniente del sol, radiación infrarroja, presión de la radiación solar, impacto de meteoritos, altas temperaturas cuando está expuesto al sol y muy bajas temperaturas en ausencia de éste, e incluso se ve afectado por la fuerza gravitacional de la luna, del sol y de la tierra misma entre otros.

La ionosfera es una región de la atmósfera que empieza aproximadamente a 40 km. sobre la tierra y se extiende hasta unos 560 km. Se llama ionosfera porque contiene un número mucho mayor de iones negativos y positivos que las otras regiones de la atmósfera.

Aunque no existe una separación exacta entre capas de la ionosfera, se ha dividido convencionalmente para su estudio en varias capas, asignando el nombre de *capa D* a la parte más baja ubicada aproximadamente entre 40 y 80 km. de altura, la cual solo se produce durante el día y su grado de ionización es bajo. Inmediatamente por encima de esta se encuentra la *capa E*, que se extiende desde 80 hasta 145 km. de altura, la cual está presente durante el día y durante la noche. La última capa de la ionosfera es la *capa F*, que se extiende desde 145 hasta 560 km., siendo ésta el límite superior de la ionosfera.

## 1.2. PROPAGACION DE LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS.

Para comprender mejor cómo es posible la comunicación a grandes distancias, es necesario mencionar, algo acerca de la propagación de las ondas de radio.

Las señales eléctricas se *transmiten* a grandes distancias por medio de las *ondas electromagnéticas*. El equipo de transmisión genera la señal y la amplifica a un alto nivel de potencia para luego aplicarla a una antena que la emite o *radia* al espacio. Energía que tendrá por objetivo alcanzar el extremo receptor, en el que se encuentra la antena de recepción. Esta, por ejemplo, puede pertenecer a una estación terrena o bien, se puede tratar de las antenas receptoras del satélite de comunicación.

La función primordial de un transmisor, por lo tanto, es la de suministrar energía de radiofrecuencia (r.f.), a una antena para que ésta pueda transmitir la información a grandes distancias por medio de las ondas electromagnéticas radiadas a través del espacio y captadas por las antenas receptoras remotas. En este caso colocadas a 36 000 km. de altura; es decir, las que forman parte del satélite de comunicación.

La finalidad de la antena es que actúe como conexión entre el transmisor o receptor y el medio conductor. Cuando el transmisor genera la energía y el receptor la convierte en alguna forma de información, la antena es la unidad que las acopla con el espacio.

Sin entrar en detalles, una antena funciona a base del principio de una diferencia de tensión entre dos puntos que crea un campo eléctrico. La corriente entre estos dos puntos de potenciales diferentes crea un campo magnético perpendicular al campo eléctrico, estos dos campos actúan alternativamente alrededor de la antena, los cuales emanan ó *radian* una parte de la energía al espacio en forma de ondas electromagnéticas que transportan la información hasta las antenas receptoras.

Una característica importante de una antena simple, es su posición con respecto a la tierra, la cual afecta la polarización de la onda de radio emitida, es decir, la posición de la antena define la *polarización* de la *onda electromagnética*.

La polarización de la onda de radio se clasifica en: *Polarización Vertical* y *Polarización Horizontal*, de acuerdo con la dirección de la componente del campo eléctrico de la onda, con respecto a la superficie terrestre.

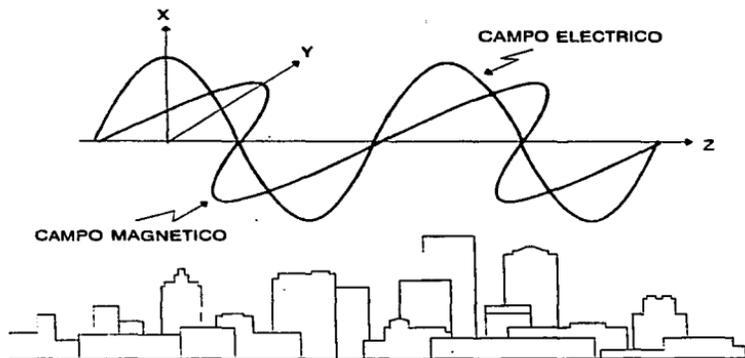


Fig. 1.1. POLARIZACION VERTICAL DE UNA ONDA ELECTROMAGNETICA.

De este modo, si al propagarse la onda a través del espacio, su campo eléctrico es vertical con respecto a la tierra, se dice la onda está *polarizada verticalmente*.

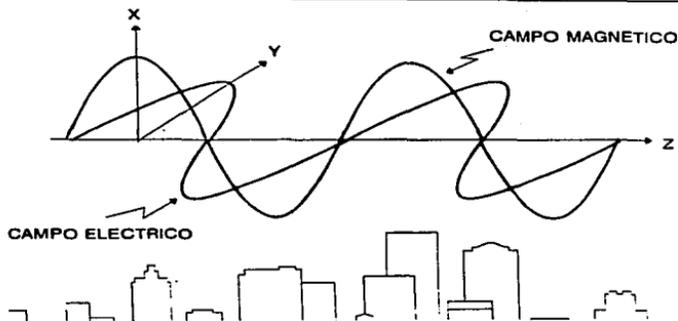


Fig. 1.2. POLARIZACION HORIZONTAL DE UNA ONDA ELECTROMAGNETICA.

Si por el contrario el campo eléctrico es horizontal con respecto a la tierra, la onda tiene *polarización horizontal*.

Así, las antenas en posición horizontal producen ondas polarizadas horizontalmente, posición que también deberá tener la antena receptora para lograr una mejor recepción de la señal. Y análogamente sucede lo mismo con la polarización vertical.

El tipo de polarización utilizado en un sistema particular depende de muchos factores interrelacionados, tales como el tipo o diseño de la antena, la frecuencia

e incluso la altura de operación. Pero, por ejemplo, en las antenas parabólicas usadas para la recepción de canales de televisión vía satélite, la polarización de las ondas electromagnéticas son aprovechadas para separar los canales contiguos, usando una polarización para los canales pares y la otra para los canales impares, reduciendo de este modo la interferencia entre canales con frecuencia muy próxima.

Las ondas de radio que se desplazan entre las antenas transmisora y receptora, se propagan de dos maneras principales. Una es por medio de las *ondas de tierra*, que siguen la curvatura de la tierra en línea directa. Y la otra es por medio de *ondas ionosféricas*, que se desplazan hacia arriba formando diversos ángulos, las cuales son reflejadas y devueltas a la tierra por las capas eléctricamente conductoras de la atmósfera.

Por lo tanto, la *onda de tierra* es un buen medio para establecer comunicación por radio, pero su eficiencia varia dependiendo; más que de su frecuencia; de la *potencia* de sus componentes. A frecuencia relativamente bajas, como las que se usan en radiotransmisión comercial de AM, la componente constituida por la *onda de superficie* es muy intensa, pero sin embargo, a medida que esta se aleja de la antena, se atenúa rápidamente de modo que las ondas usadas para las comunicaciones a gran distancia deben tener mucha potencia.

bajas, como las que se usan en radiotransmisión comercial de AM, la componente constituida por la *onda de superficie* es muy intensa, pero sin embargo, a medida que esta se aleja de la antena, se atenúa rápidamente de modo que las ondas usadas para las comunicaciones a gran distancia deben tener mucha potencia.

Cabe notar que además de la onda de tierra, hay una porción de la energía radiada por la antena que se propaga hacia arriba a través del espacio. A esta se le llama *onda espacial o ionosférica*. Por lo que al contrario de la anterior, su eficiencia o alcance que esta tenga, depende en mucho de la *frecuencia*, mas que de la potencia de transmisión, sin descartar esta última.

Por lo tanto, para que las ondas de radio alcancen mayor altura es necesario aumentar su frecuencia, es decir; existe una relación directa entre altura y frecuencia de la onda, a mayor frecuencia de propagación de la onda portadora; mayor será la elevación y distancia que esta alcance en el espacio.

Por consiguiente, la *onda espacial* se usa para transmitir señales a grandes distancias. Aprovechando que es *refractada* o doblada por la *ionosfera*, enviándola nuevamente hacia la tierra, logrando de este modo su recepción en un lugar muy distante al de su origen.

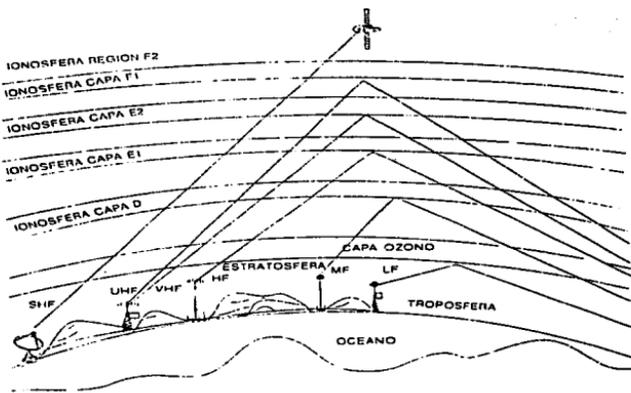


Fig. 1.3. CAPAS DE LA ATMÓSFERA TERRESTRE.  
(Reflexión de las ondas electromagnéticas).

En la figura anterior, se puede observar que el alcance que tienen las ondas electromagnéticas, reflejándose en las distintas capas de la atmósfera terrestre, dependen en gran medida de su región de trabajo en el espectro de frecuencias.

Por ello es que, en un medio de transmisión inalámbrico de comunicación entre estaciones de tierra, mediante una antena parabólica que emite un haz electromagnético concentrado, y otra antena parabólica que lo recibe con cierta incertidumbre, la onda espacial que es el modo de propagación principal se encuentra dentro del ancho de banda SHF (super alta frecuencia). Además la banda SHF forma parte del rango de frecuencias denominado: banda de *microondas*, el cual se observa en la figura siguiente, así como las subbandas en que se divide dentro del espectro de frecuencias.

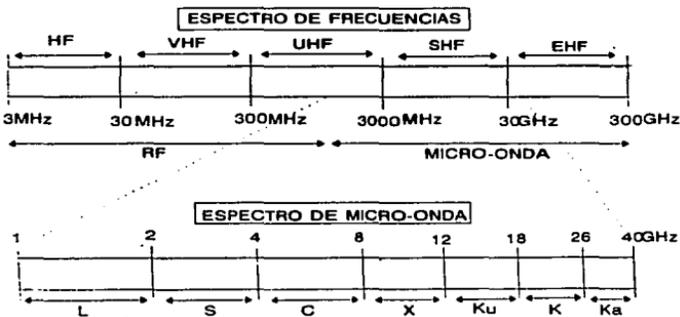


Fig. 1.4. CLASIFICACION DE LAS BANDAS DE FRECUENCIAS.

En la banda de microondas las condiciones de clima, afectan la propagación de la energía en el haz, lo cual se debe a los cambios de temperatura, humedad y presión en la atmósfera; como se vio en la sección anterior, que alteran el índice de refracción y desvían el haz.

Pero el ancho de banda de este medio es tan grande y su gran capacidad de tráfico dentro de las subbandas que, actualmente se usa en las comunicaciones masivas.

### **1.3. VELOCIDAD DE TRANSMISION.**

Un término muy utilizado en la tecnología de las comunicaciones es la velocidad de transmisión o baudios.

La velocidad de transmisión de datos se mide en bauds. El término bauds es una unidad que representa la relación de transmisión de datos medida en pulsaciones u oscilaciones eléctricas por segundo (el nombre se debe a Emile Baudot). Otra manera de medir la velocidad de transmisión de datos es en Bits por segundo (bps), lo que ha provocado una confusión, ya que mucha gente

considera que da lo mismo decir bauds que bps. En cierto modo, tienen razón; si la velocidad de transmisión es baja, sólo un bit se transmite con cada pulsación; en este caso un baud equivale a los bps (pueden considerarse velocidades bajas de transmisión: 300 a 1 200 bps). En el caso de altas velocidades, cuando es posible enviar más de un bit en cada pulsación, una velocidad de 9 600 bps puede representar 4 800 bauds; esto es dos bits en cada pulsación.

En un principio se utilizaban dos normas para la estandarización de las frecuencias en las transmisiones; BELL en Estados Unidos y CCITT en Europa. Con el tiempo se han impuesto las normas CCITT (Actualmente ITU, International Telecommunication Union) V.21 para comunicaciones a 300 bps, V.22 para 1200 bps, V.22 para 2400 , V.32 para 9600 y así hasta llegar a V.34. Esta norma permite transmisiones de 28 800 bps, asegurando transferencias confiables al utilizar compresión de datos y rutinas de corrección de errores.

En cuanto a programas de comunicación, por su parte, requieren protocolos para lograr la transmisión de archivos de manera segura y rápida. Los más conocidos son los XMODEM, YMODEM, ZMODEM, KERMIT y otros.

Un programa o software de comunicaciones es, como todos los programas de cómputo una serie de instrucciones o código realizado en cualquiera de los lenguajes de programación existentes, que permite programar los puertos de comunicación y parámetros necesarios para que una computadora pueda transmitir o recibir datos; es decir, compartir información con otras computadoras conectadas a la red o a través de líneas telefónicas.

## **2. TÉCNICAS DE MODULACION.**

### **2.1. FUNDAMENTOS DE LA MODULACION.**

Para que la energía r.f. sea útil en radiotelegrafía o radiotelefonía debe contener información. El proceso de impartir la información superponiéndola a una onda portadora, es lo que se llama *modulación*.

En los sistemas de radiotelefonía la palabra es convertida en una tensión de audiofrecuencia, amplificada y superpuesta a la portadora. Cuando una señal que contiene información ha sido añadida a la portadora se dice que está *modulada*. Por lo tanto, la *Modulación* se define como el proceso mediante el cual se varia alguna característica de una onda periódica en función del tiempo, de acuerdo con una señal de otra frecuencia.

Sin embargo, los transmisores pueden enviar la tensión r.f. generada por los circuitos osciladores sin que se le añada o superponga una señal moduladora, por consiguiente, esta debe ser interrumpida a un ritmo codificado para enviar información.

### 2.1.1. ESTRUCTURA DE UNA ONDA MODULADA.

Una *onda modulada* es aquella cuya amplitud, frecuencia o fase han sido variadas de acuerdo con la información a transmitir.

Una onda portadora se puede expresar por:

$$e = E_0 \text{ sen } (2\pi f_0 t + \theta)$$

donde:

$E_0$  = Amplitud media o voltaje pico.

$f_0$  = frecuencia de la oscilación r.f.

$\theta$  = Angulo de fase.

Cabe preguntarse, por qué una señal que ya lleva información (la onda moduladora), ha de usarse para modular otra onda (la onda portadora). La transmisión de señales de alta frecuencia por radio, es más barata y más eficaz que la transmisión de señales de muy baja frecuencia. Además y principalmente, el uso de la modulación sirve para transmitir varias señales de información que se encuentran dentro del mismo rango de frecuencias, a través de un mismo medio de comunicación sin que estas interfieran entre sí.

Además, se necesita mucha potencia para transmitir una señal de baja frecuencia y la señal no puede transmitirse muy lejos. Por lo que la información de baja frecuencia se sobrepone o modula en una señal de alta frecuencia, llamada usualmente *portadora de radiofrecuencia* r.f. , ya que es adecuada para transmisión por radio. El término *radiofrecuencia* no define una banda específica de frecuencia, pues sólo significa que la frecuencia es suficientemente alta para la transmisión radiofónica.

## 2.2. MODULACION ANALOGICA.

Para representar información mediante una señal, ésta deberá describir el comportamiento o variación de una magnitud física, la cual puede referirse a transmisión, tratamiento o memorización mediante voltajes o corrientes.

Si la representación de la información se describe en forma análoga al comportamiento de un fenómeno físico, en la que estarán coordinados punto a punto diferencias de magnitud un campo continuo de valores del parámetro de la señal, dicha descripción o representación de información dará como resultado una *señal analógica*, es decir, tiene un valor definido para cualquier momento. Por ende si esta señal es usada para modular o cambiar algún parámetro de una señal portadora tendremos lo que se denomina *modulación analógica*.

### 2.2.1 MODULACION EN AMPLITUD.

Por consiguiente se puede variar la forma de onda variando la amplitud media, la frecuencia de oscilación r.f. o el ángulo de fase.

Si en el curso de la modulación varía la amplitud de la onda portadora, mientras su frecuencia permanece constante, el proceso se denomina de *amplitud modulada*. Así, la onda portadora consta de ondas senoidales cuyas amplitudes siguen las variaciones de amplitud de la onda moduladora, de tal manera que siempre está dentro de una *envolvente* formada por la señal moduladora.

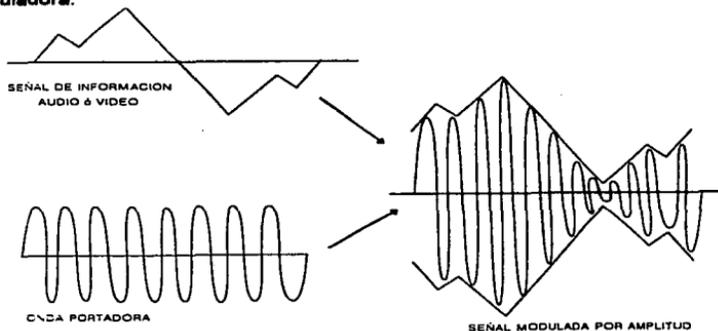


Fig. 2.1. MODULACION POR AMPLITUD.

Se ha dicho que la onda portadora *modulada en amplitud*, es una onda de frecuencia constante cuya amplitud cambia según la señal moduladora. sin embargo, la onda portadora modulada, además de la frecuencia de sí misma, contiene otras frecuencias. Estas frecuencias se generan en el proceso de modulación y reciben el nombre de *frecuencias de bandas laterales*.

Cuando dos tensiones de diferentes frecuencias se combinan para obtener una tensión de un tercer valor de frecuencia, se producen dos nuevas frecuencias a cada lado, las *bandas laterales*. La banda lateral inferior tiene una frecuencia igual a la diferencia de frecuencia entre la señal moduladora y la onda portadora. La banda lateral superior, o frecuencia suma es igual a la suma de la frecuencia portadora y de la frecuencia moduladora.

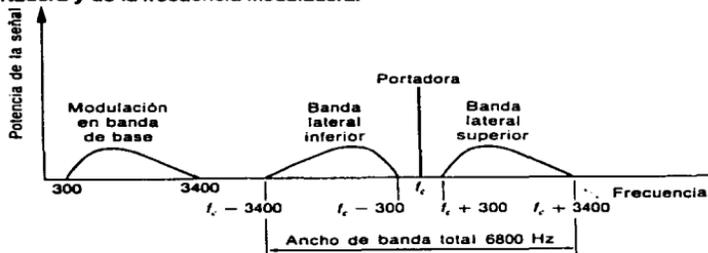


Fig. 2.2. BANDAS LATERALES PRODUCIDAS POR LA MODULACION EN AMPLITUD DE UNA PORTADORA DE FRECUENCIA  $f_c$  MEDIANTE UNA ONDA MODULADA fm.

Por ejemplo para una frecuencia portadora estacionaria de 1 000 kHz modulada una frecuencia de audio de 7 500 Hz. Se producen dos frecuencias adicionales, una de 1 007.5 kHz y la otra de 992.5 kHz. Estas llamadas también *frecuencias de batido*, tienen valores iguales a la suma y diferencia de las frecuencias moduladora y portadora. Donde amplitud en cualquier instante es igual a la suma algebraica de los valores instantáneos de las tres ondas.

Por lo tanto toda la información contenida en una onda AM es transportada entre las bandas laterales a uno y otro lado de la portadora. Es evidente que habrá implicada no sólo una frecuencia sino una banda de frecuencias.

La música, por ejemplo; contiene muchas componentes de frecuencia de hasta 15 kHz; por consiguiente, la música modulada sobre una portadora producirá componentes de banda lateral que se extienden hasta 15 kHz a cada lado de la frecuencia portadora. Aunque la frecuencia resultante debida la interacción de las tres frecuencias es de 7.5 kHz, la anchura de banda es de 15 kHz, o sea desde 992.5 kHz hasta 1007.5 kHz.

**2.2.2. MODULACION DE FRECUENCIA.**

Un inconveniente importante de la modulación de amplitud es la presencia de interferencias y estáticos, que puede ser de casi cualquier frecuencia contenida en el espectro. Si la amplitud de la señal transmitida se aumenta, también aumenta la amplitud del ruido.

Con modulación de frecuencia la amplitud de la onda modulada se mantiene en un valor constante mientras se varía la frecuencia de la onda al ritmo determinado por la frecuencia de la señal a transmitir. Los sistemas FM requieren mayor anchura de banda y se demuestra que la relación *señal / ruido* de la señal transmitida aumenta en una cantidad igual al aumento de la intensidad de señal útil que resulta de la mayor anchura de banda. Mientras las estaciones de radiodifusión de AM tienen asignada una anchura de banda de sólo algunos kHz a cada lado de la frecuencia portadora, las estaciones de FM están a veces separadas por mas de 100 kHz, evitándose así la interferencia entre estaciones.

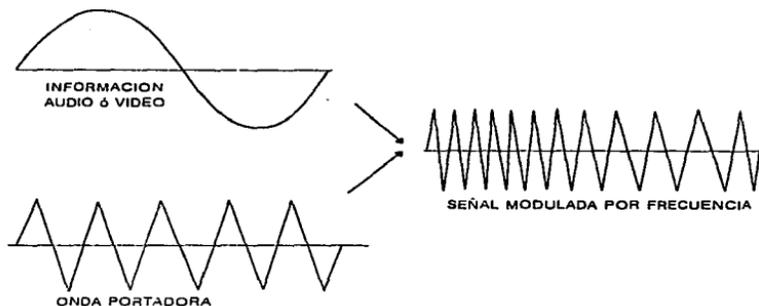
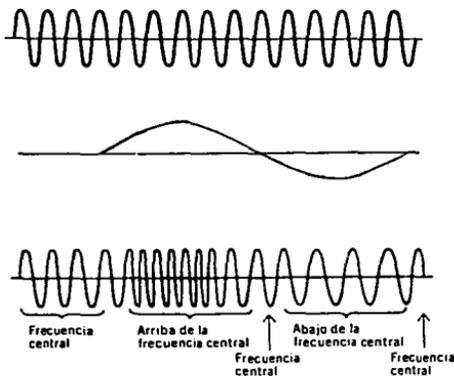


Fig. 2.3. MODULACION POR FRECUENCIA.

Por el contrario, si la amplitud de la onda portadora se mantiene constante mientras que cambia la frecuencia de la misma, el proceso se llama de *frecuencia modulada*.

Es decir, cuando la onda portadora o r.f. está modulada en frecuencia, su amplitud no cambia, pero su frecuencia aumenta y disminuye de acuerdo con las variaciones de amplitud de la señal moduladora. La frecuencia que tenía la portadora antes de la modulación se llama *frecuencia central* o de *reposo*. La onda portadora modulada fluctúa arriba y debajo de la frecuencia central.



**Fig. 2.4. VARIACION DE FRECUENCIA DE UNA PORTADORA EN FUNCION DE LA AMPLITUD DE LA ONDA MODULADORA.**

La frecuencia de una onda portadora de FM es igual a la frecuencia central, cuando la señal moduladora tiene amplitud cero. Alcanzando la onda portadora su máxima frecuencia en el máximo valor positivo y su mínima frecuencia en el mínimo valor negativo de la señal moduladora, como se observa en la figura anterior.

### 2.2.3. MODULACION EN FASE.

La *modulación de fase* tiene lugar cuando el ángulo de fase  $\theta$  varía, mientras la frecuencia y la amplitud permanecen constantes.

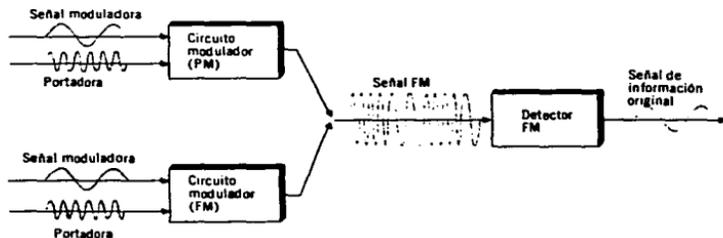


Fig. 2.5. LA MODULACION EN FASE PRODUCE SEÑALES DEL MISMO TIPO QUE LAS SEÑALES PRODUCIDAS POR LA MODULACION DE FRECUENCIA DIRECTA.

En FM es muy importante que la frecuencia central de la portadora se mantenga constante durante todo el proceso de demodulación, ya que la cantidad de *desviación de la frecuencia central* es precisamente lo que representa la información. Estas variaciones de frecuencia se detectan en el receptor para

reproducir la información original; si durante la modulación, la frecuencia central de portadora cambiase, las variaciones de frecuencia no tendrían el punto de referencia común y la señal demodulada se distorsionaría.

Y como en muchos de los circuitos electrónicos usados para producir señales de FM, la frecuencia central de la portadora tiende a variar, entonces para remediarlo, se suele utilizar este método, llamado *modulación de fase* (Phase Modulation, PM).

Cabe notar que este es un método para modular portadoras de onda continua, obteniéndose como resultado una señal de FM que se transmite, recibe y demodula de la misma manera que las señales de FM estudiadas anteriormente.

En otras palabras la *modulación de fase* es un método indirecto para obtener una señal de FM que tenga una frecuencia central alta y estable. El principio en que se basa la modulación de fase, es que todo cambio en fase de una onda senoidal automáticamente causa un cambio en la frecuencia de la onda.

En la modulación de fase, la fase instantánea de la portadora se desvía del estado de reposo en una cantidad que es proporcional a la amplitud de la señal moduladora. La máxima desviación de fase al igual que la máxima desviación de frecuencia de la FM, está determinada por las máximas amplitudes positivas y negativas de la señal moduladora.

Cada vez que la señal moduladora produce una desviación de fase en la portadora, también varía la frecuencia de la misma. Estas variaciones de frecuencia constituyen una señal de FM equivalente que se usa en el receptor para recuperar la información de la señal.

### 2.2.4. BANDAS LATERALES.

Las *bandas laterales* que como ya lo describimos son las bandas o rangos de frecuencia producidas por la modulación a uno y otro lado de la frecuencia portadora. Se presentan no solo en la modulación AM, sino que de igual manera se producen en la modulación de FM.

Cuando esta señal se usa...



... para modular esta portadora...



... se obtiene esta portadora modulada que tiene los componentes siguientes:



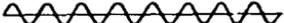
FRECUENCIA DE LA BANDA LATERAL SUPERIOR. AMPLITUD CONSTANTE



FRECUENCIA DE LA PORTADORA. AMPLITUD CONSTANTE



FRECUENCIA DE LA BANDA LATERAL INFERIOR. AMPLITUD CONSTANTE



**Fig. 2.6. LA AMPLITUD DE LA PORTADORA MODULADA EN TODO INSTANTE ES IGUAL A LA SUMA ALGEBRAICA DE LAS AMPLITUDES INSTANTANEAS DE SUS TRES COMPONENTES.**

Estas frecuencias de banda lateral contienen señal de información en ambos casos, sin embargo, la diferencia principal entre las frecuencias de la bandas laterales de AM y FM estriba en el *número de frecuencias generadas*.

En FM la frecuencia moduladora produce un par similar de frecuencias de banda lateral: la suma y la diferencia. Sin embargo, además del par básico se produce un número, teóricamente infinito de frecuencias de banda lateral. Las frecuencias adicionales varían entre sí en múltiplos enteros de la frecuencia moduladora.

**2.2.5. BANDA LATERAL UNICA.**

Se ha visto que ambas bandas laterales de una señal modulada en amplitud contiene toda la información, de modo que basta transmitir una sola banda lateral y la portadora, para recuperar toda la información. Por tanto, si se suprime una de las bandas laterales inmediatamente después de modular la portadora, eso no afectará de modo alguno la transmisión del mensaje.

El método de modulación basado en la supresión de una banda lateral en la señal de amplitud modulada se llama *modulación de banda lateral única*, BLU. La ventaja principal de este método consiste en que al eliminar una banda lateral, reduciendo a la mitad el ancho de banda de la señal.

Con un ancho de banda reducido es más fácil manejar la señal en el equipo y circuitos de recepción, ya que mientras más estrecha sea la banda, habrá menos ruidos atmosféricos o estática que se introduzcan en los circuitos receptores junto con la señal.

Una onda modulada no es una sola oscilación senoidal sino varias ondas superpuestas. La onda portadora sola se convierte en una onda compleja superponiéndole muchas ondas que constituyen la palabra o la música.

### 2.3. MODULACION DIGITAL.

El envío de datos puede efectuarse en *banda base* en el canal de transmisión o puede llevarse a cabo en función de la *translación de frecuencias* de los pulsos digitales. En el último caso se emplea alguno de los métodos de modulación digital de una onda portadora, como son, por ejemplo: ASK, PSK, FSK y QAM, por sus siglas en inglés.

Las emisoras de radio han estado usando técnicas de modulación de amplitud AM de una señal portadora (entre 100 kHz y 30 MHz) para transmisiones de audio durante muchas décadas. La modulación de frecuencia FM se adoptó posteriormente para las emisiones en VHF, y para las señales de sonido de televisión, a fin de evitar las atenuaciones en caso de recibir una señal portadora débil.

En cambio, en la modulación digital, la señal digital modula la portadora mediante una o varias técnicas de modulación: modulación en amplitud, modulación en frecuencia y modulación en fase. Cuando las señales moduladas se corresponden directamente con señales digitales 0 y 1 binarios, el proceso de modulación se denomina *Codificación o Keying*, el cual se verá a lo largo de este capítulo.

2.3.1. La *modulación en amplitud* ( *Amplitude Shift Keying, ASK* ), o *codificación*, es en la que la magnitud de la amplitud de la señal de la portadora va variando entre dos niveles a la misma velocidad que lo hace la señal digital.

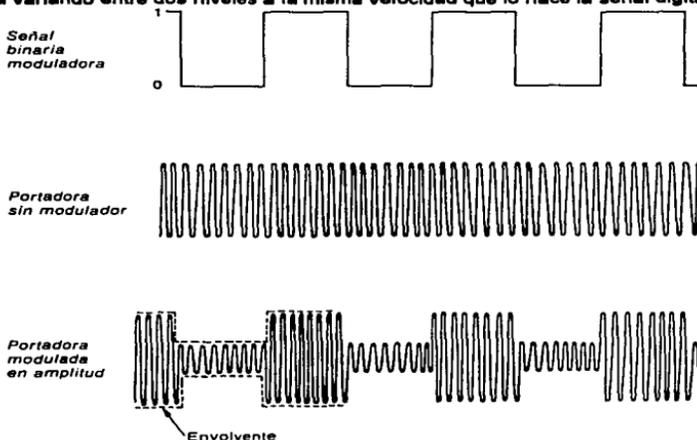


Fig. 2.7. MODULACION DE SEÑALES BINARIAS EN AMPLITUD.

La demodulación supone una comparación con el nivel de amplitud, lo que se ve dificultado por la atenuación de la portadora en el medio de transmisión.

2.3.2. En la codificación por desplazamiento de frecuencia (Frequency Shift Keying, FSK) o modulación de frecuencia, la onda portadora se ve afectada en su frecuencia por la señal digital, como se ilustra a continuación.

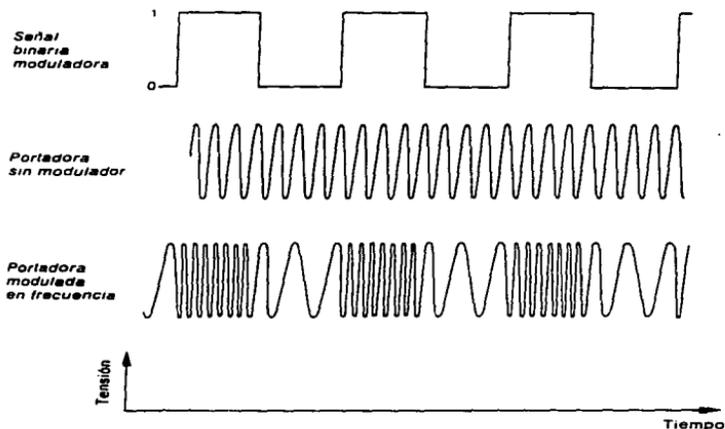


Fig. 2.8. MODULACION DE SEÑALES BINARIAS EN FRECUENCIA.

La demodulación se realiza simplemente detectando la presencia de una u otra de las frecuencias, teniendo como ventaja que estas no varían durante la

transmisión. Esta propiedad hace adecuada la FSK para las transmisiones asíncronas en las que no se dispone de referencias de reloj.

2.3.3. La *modulación por desplazamiento de fase* (Phase Shift Keying, PSK) o modulación en fase, utiliza desplazamiento en la fase de la portadora con respecto a una fase de referencia para transmitir datos binarios.

Con la *modulación de fase*, la amplitud y la frecuencia de la onda portadora se mantienen constantes; como se había mencionado anteriormente, pero a diferencia de lo anterior, la portadora se cambia de fase para representar los bits que se están transmitiendo.

Por lo tanto, la función que tienen los circuitos moduladores, es permitir el envío de información por medio de las portadoras de r.f. usando métodos que cambian alguna característica de la portadora, de acuerdo con una señal moduladora de frecuencia relativamente baja, en donde las variaciones de la señal modifican la frecuencia, amplitud o fase de la onda portadora a fin de que estas fluctúen de tal manera que haya una relación directa entre la señal de información y las variaciones de la portadora.

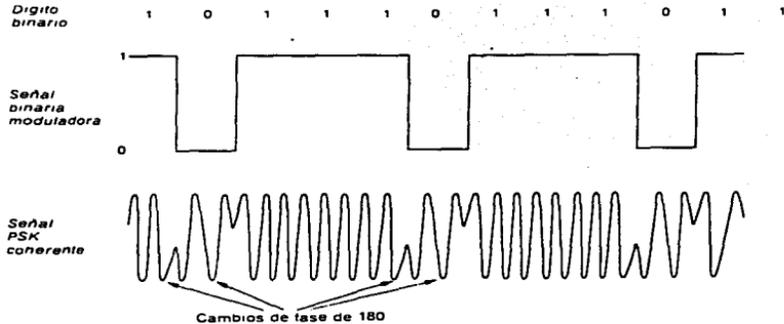


Fig. 2.9. MODULACION POR DESPLAZAMIENTO DE FASE.

Retomando, el esquema de modulación de fase mas simple conocido como *manipulación por variación de fase* (PSK); usaria dos señales portadoras para representar el 0 y el 1 binarios, con un cambio de fase de  $180^\circ$  entre ellas.

La PSK coherente cambia  $180^\circ$  entre dos señales de la portadora para representar un 0 y un 1 binarios, como se observa en la Fig. 2.9.

La PSK coherente N-aria puede utilizarse para alterar la fase de la portadora entre N valores posibles.

La PSK diferencial binaria o DPSK utiliza un desplazamiento de fase de  $\pm 90^\circ$  en relación con el bit anterior para indicar un 0 ó un 1 binarios, respectivamente. Un sistema DPSK de cuatro fases transmite díbits utilizando desplazamientos de  $45^\circ$  para el símbolo 00; de  $135^\circ$  para el 01; de  $225^\circ$  para el 11, y de  $315^\circ$  para el 10, como se muestra en la figura siguiente.

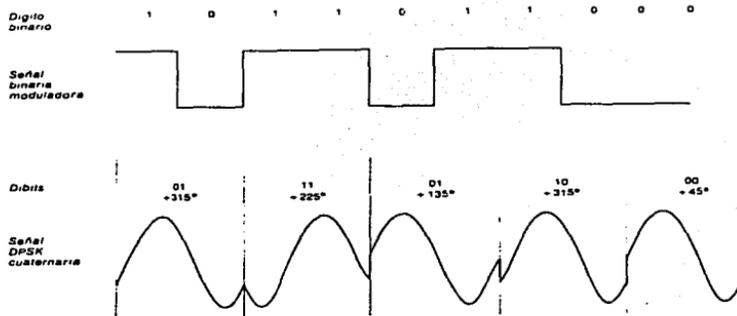


Fig. 2.10. MODULACION DPSK.

2.3.4. La *modulación de amplitud de cuadratura* (Quadrature Amplitude Modulation, QAM) combina la modulación PSK con la modulación en amplitud para transmitir tribits, o símbolos de tres bits.

La figura siguiente muestra los símbolos que se pueden transmitir mediante un sistema de codificación de 16 símbolos.

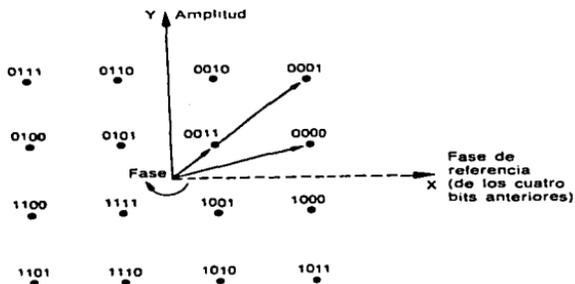


Fig. 2.11. MODULACION DE AMPLITUD DE CUADRATURA.

### 2.3.5. MODULACION POR CODIFICACION DE PULSOS (PCM).

Pero como es de esperarse, cuando se quiere transmitir información de naturaleza analógica, antes de poder ser codificada es necesaria su conversión a forma digital.

Para lo cual primeramente se lleva a cabo el proceso de muestreo de la señal analógica, el cual consiste en tomar y analizar el valor que tiene la señal (muestra) a intervalos de tiempo regulares (velocidad de muestreo). La señal resultante de este proceso se conoce como señal PAM (Pulse Amplitude Modulation) o *modulada por amplitud de pulso*, es decir; la señal moduladora se convierte inicialmente en una serie de pulsos cuyas amplitudes corresponden a las amplitudes instantáneas de la señal moduladora.

Una virtud muy importante de este proceso es que la *señal analógica* puede ser reconstruida a su forma original utilizando un simple filtro pasabajas cuya frecuencia de corte sea la adecuada. Sin embargo, una cuestión de gran importancia en el proceso de muestreo es determinar el grado de fidelidad con que la señal original puede ser reconstruida a partir del filtraje de la señal PAM, para ello es indispensable aplicar el teorema de Nyquist, el cual nos dice: Para que una señal de ancho de banda limitado que no tenga componentes espectrales arriba de su frecuencia misma; pueda ser representada mediante

muestras tomadas a intervalos de tiempo regulares, esta frecuencia de muestreo debe ser al menos el doble de la frecuencia más alta de la señal a muestrear.

Una vez obtenidos los pulsos PAM estos podrían utilizarse para modular una onda portadora y transmitirse inmediatamente, teniendo como ventaja la reducción de la potencia del transmisor. Pero en cambio, es importante que la característica que representa la información no varíe durante la transmisión y procesamiento de la señal, cualquier cambio, por ejemplo el de amplitud de un pulso PAM, distorsionaría la información.

Como se puede observar, la señal PAM que hemos analizado, aún conserva las características de toda señal analógica en el sentido que presenta pequeños rangos de variación del parámetro de la señal, de manera que es necesario someterla a algún proceso que limite el número de posibles valores. Este proceso generalmente se lleva a cabo de la siguiente manera:

**a) Muestreo - Retención (Sample - Hold).**

Como su nombre lo indica, este proceso involucra la retención del valor muestreado de la señal analógica, el cual es retenido hasta que se efectúa la siguiente muestra.

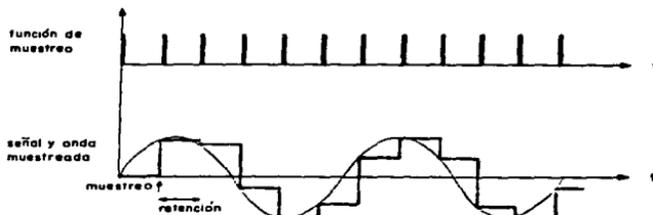


Fig. 2.12. OPERACION DE UN CIRCUITO DE MUESTREO Y RETENCION.

Para que una señal analógica pueda ser procesada por un sistema de comunicación digital, la señal analógica debe ser representada de ciertas maneras. Una vez que se obtuvo la señal PAM a partir de la señal analógica y que además fue discretizada (Muestreo-Retención), es decir, a cada pulso modulado en amplitud le corresponde un único valor en su magnitud de amplitud, es necesaria la cuantización y codificación de la señal discreta, para formar una palabra digital, limitada por un determinado número de bits, en forma proporcional al número de intervalos de cuantización utilizados.

El procedimiento de cuantización y codificación se describe a continuación:

**b) Cuantización - Codificación.**

Consiste en dividir el rango de amplitud de la señal PAM, en un numero finito de valores discretos, y dependiendo de la amplitud de la señal analógica asignar el valor discreto más cercano para cada muestra.

La cuantización de la señal, trae como consecuencia que la forma de onda original no pueda ser recobrada o reconstruida en forma totalmente exacta. Donde la correspondencia es la siguiente: Entre más niveles de cuantización se tengan, mayor será la fidelidad de la señal reconstruida, aunque como es de esperarse este aumento en el número de niveles trae como consecuencia la necesidad de un mayor ancho de banda del sistema.

El principio de la *modulación por codificación de pulsos* PCM, es que la señal analógica de voz se muestra a intervalos regulares y su amplitud en ese punto se representa por medio de un numero binario que luego se transmite. Es por ello que el concepto de PCM es de gran importancia en las telecomunicaciones, convirtiéndose en la base de la telefónica digital, en la cual para representar la onda de forma adecuada, pero sin que la transmisión necesite demasiados datos, se ha estandarizado el uso de una velocidad de muestreo de

8 000 veces por segundo u 8 kHz, con un total de 256 niveles de amplitud lo que da un tamaño de palabra PCM de 8 bits por muestra, teniendo por consiguiente una velocidad de transferencia de datos de 64 000 bits/s para un solo canal PCM.

Por lo tanto, en la modulación por pulsos codificados se hace un muestreo de la señal moduladora a intervalos discretos. En cada muestreo se produce un grupo de pulsos correspondiente al valor de la señal moduladora en ese instante. Cada pulso está formado de pulsos idénticos pero el número de pulsos y la posición de los mismo representa al valor específico de la moduladora PAM, es decir, constituyen los elementos de un código.

Por lo que también es importante que el receptor utilice el mismo código para la recuperación de la información aplicando el procedimiento inverso.

Cuando se demodula una señal PCM cada grupo de pulsos pasa a través de un circuito que de hecho, decodifica el grupo al producir un voltaje de salida correspondiente al nivel representado por ese grupo.

En la transmisión con modulación del código de pulso PCM, tiene ventaja sobresaliente cuando se compara con la transmisión de señales analógicas, ya que con dicho método, la interferencia y la distorsión dejan de ser un problema mayor cuando se trata de recuperar la información, pues la recuperación de la

señal depende de la presencia o de la ausencia de pulsos, más bien que de una característica variable, aún en el caso de que los pulsos estén distorsionados, siempre pueden detectarse a menos de que la distorsión sea muy considerable.

Además de los pulsos que forman los grupos de código, se emplean pulsos de referencia para indicar al receptor que inicia un nuevo grupo. Este método resulta especialmente útil para la transmisión de datos, por ejemplo en telemetría.

Sin embargo, los mismos códigos pueden representar letras del alfabeto o bien para representar las señales relativas de una señal.

### **3. TÉCNICAS DE MULTIPLEXAJE.**

Los primeros tipos de enlaces estaban basados en el uso de cables de pares trenzados, o empleaban técnicas de multiplexación por división de frecuencia sobre cables coaxiales. Aunque estos enlaces pronto se complementaron e incluso se sustituyeron por enlaces de microondas que empleaban técnicas analógicas de multiplexación por división de frecuencia y, más recientemente, el uso de técnicas de multiplexación por división en el tiempo en enlaces digitales de fibra óptica o enlaces vía satélite.

A continuación se describen ambas técnicas, las cuales tienen un objetivo en común: permitir la transmisión de señales múltiples por una sola línea o medio de transmisión, de modo tal , que cada señal pueda ser recobrada en el terminal de recepción.

#### **3.1. MULTIPLEXACION POR DIVISION DE FRECUENCIA. FDM**

Esta técnica consiste en dividir la frecuencia (ancho de banda) de la línea de transmisión de ancho de banda alto, en un cierto numero de canales de frecuencia mas estrecha.

Las señales procedentes de distintas fuentes se modulan y convierten en ondas portadoras dentro de la frecuencia asignada. Lo que significa que el espectro de cada canal esta desplazado en cierta medida diferente.

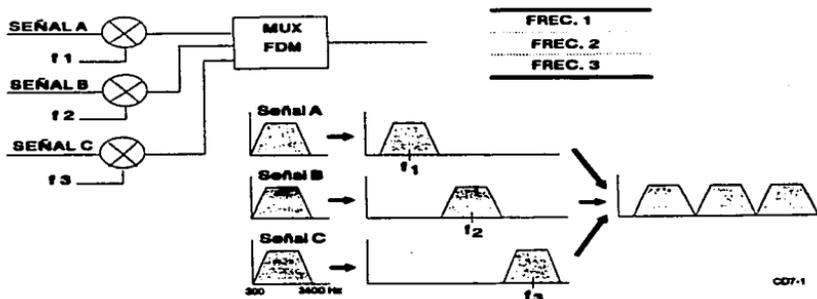


Fig. 3.1. MULTIPLEXACION POR DIVISION DE FRECUENCIA.

En la figura se muestra el espectro obtenido del múltiplex por división de frecuencia de tres canales donde se ha utilizado modulación de banda lateral inferior y superior para cada señal. Por lo tanto, la línea de transmisión rápida transporta simultáneamente varias transmisiones más lentas.

### 3.2. MULTIPLEXACION POR DIVISION DE TIEMPO. TDM.

Este método consiste en transmitir los canales en tiempos separados, es decir, se transmiten muestras de la señal en tiempos diferentes correspondiendo un instante de tiempo particular para cada uno.

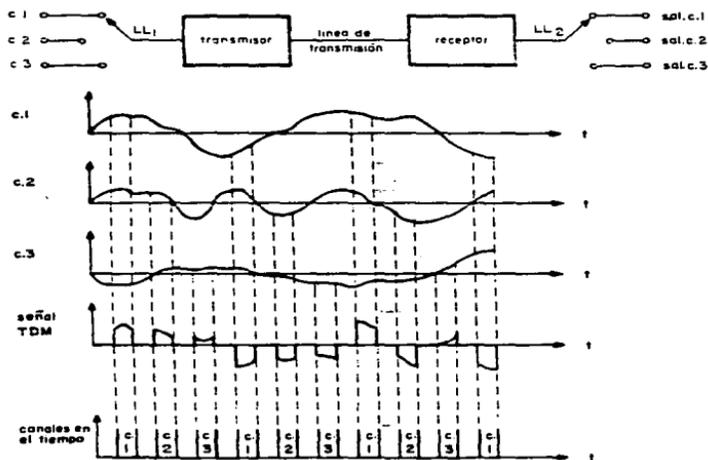


Fig. 3.2. DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL SISTEMA TDM Y FORMAS DE ONDA.

En el caso que se ilustra en la figura anterior, se puede observar que las diferentes señales PAM se envían directamente, en la misma secuencia una seguida de la otra. Sin embargo, en las transmisiones digitales, se pueden enviar bloques o grupos de caracteres que pueden constar de ocho bits, tal como se obtiene de la modulación PCM, donde los ocho bits son la representación de un nivel de amplitud o señal PAM.

En realidad como el canal de comunicación transmite solo un bit a la vez, entonces, para transmitir los caracteres de uno en uno (y por lo tanto el bloque), la transición debe ser muy rápida, con lo que demanda un incremento en la frecuencia y por tanto en el ancho de banda del medio de transmisión.

#### **4. FINALIDAD Y FUNCIONALIDAD DEL SATELITE.**

Las comunicaciones de larga distancia se efectúan mediante *estaciones retransmisoras en relevo*, tanto en tierra como en el espacio. Las de tierra transmiten de punto a punto, en línea de vista, a distancias de 45 km. o menos, por la gran atenuación de la señal y la curvatura de la tierra. Esta transmisión se hace evitando obstáculos del terreno, pero se tienen fluctuaciones debido a las lluvias en la trayectoria del haz, provocando efectos contrarrestantes por multitrayectorias en el punto de recepción.

Para poder transmitir a larga distancia miles de canales, simultáneamente y con comunicación en ambos sentidos, a través de un medio de transmisión atmosférico, es necesario visibilidad directa punto a punto. Los satélites son *estaciones de relevo* de comunicaciones continentales e intercontinentales, que funcionan en frecuencias portadoras ajustadas en valores que normalmente han estado dentro de los límites de dos bandas traslapadas llamadas: *de microondas* 2.6 a 40 GHz, y las de radar 225 MHz a 100 GHz.

La transmisión por microondas transporta la información transmitida en forma de ondas de radio a través de la atmósfera (o el espacio). Este sistema tiene un ancho de banda muy alto, de ahí que pueda proporcionar muchos cientos

de enlaces a alta velocidad. Además de que es muy adecuado donde el tendido de cable es muy difícil o muy caro.

Cuando se utilizan *satélites artificiales*, en un medio de comunicación, los obstáculos en la trayectoria se reducen al mínimo; no así la atenuación que aún recibe los efectos en el espacio libre, pero los ángulos de elevación tienen mayor probabilidad de centrar los haces de tierra a satélite y de satélite a tierra, en la antena parabólica respectiva. En las trayectorias de tierra a satélite no se presentan los obstáculos de montes, y cerros, ni las alteraciones de fase de señal por reflexiones en terreno irregular, ni la necesidad de establecer una estación de retransmisión cada 40 km. debido a la curvatura terrestre, lo cual es una gran ventaja y se hace posible y gracias a la ubicación de este aparato. Logrando que dentro del cono, desde el punto donde el satélite se dirige hacia la tierra, exista comunicación con las unidades móviles y las estaciones terrenas receptoras/transmisoras de microondas fijas, las cuales por estar demasiado alejadas no se alcanzan a ver entre sí.

Los sistemas de comunicación basados en el uso de satélites parecen ofrecer la posibilidad de una comunicaciones casi perfectas, con altas velocidades de transmisión y sin incrementos aparentes en los costos debido a la distancia.

Sin embargo existen muchos aspectos prácticos que deben considerarse, por ejemplo:

a) Existe un retraso de 0.5 segundos en las comunicaciones debido a la distancia que ha de recorrer, lo que puede dar lugar a problemas con los protocolos interactivos en tiempo real.

Debido a que el satélite de comunicación está colocado a una distancia de aproximadamente 36 000 km. sobre el ecuador, esto hace que la distancia que tienen que recorrer las ondas electromagnéticas desde el punto transmisor hasta el punto de recepción, como mínimo sea alrededor de 72 000 km. y pese a ello el tiempo promedio que tarda para que una señal viaje de una estación terrena a otra utilizando el satélite de comunicación como punto de enlace, es de 500 ms aproximadamente.

b) Los circuitos de voz experimentan problemas de eco, que pueden eliminarse empleando canceladores digitales de eco.

c) Los satélites tienen una vida útil media de 7 a 10 años, pero están expuestos a fallos que pueden provocar su salida de servicio. Es, por tanto, necesario disponer de un medio alternativo de servicio en caso de cualquier eventualidad.

d) Las estaciones terrenas suelen estar situadas lejos de los usuarios y a menudo se necesitan caros enlaces de alta velocidad.

Las estaciones situadas en las bandas de bajas frecuencias (banda C) están dotadas de grandes antenas ( de unos 30 metros de diámetro ) y son extremadamente sensibles a las interferencias, por lo que suelen estar situadas lejos de áreas habitadas. Además, utilizar un enlace de microondas de alta capacidad para conectar la estación que utiliza la banda C, solo ayudaría a complicar los problemas de ruido que presente el enlace con el satélite.

Las estaciones que trabajan en la banda Ku disponen de una antena menor, y son menos sensibles a las interferencias, por lo que es menos problemática.

e) Las comunicaciones con los satélites pueden ser interceptadas por cualquiera que disponga de un receptor en las proximidades de la estación. Es necesario utilizar técnicas de encriptación para garantizar la privacidad de la información.

Por otra parte, las frecuencias de los enlaces hacia y desde el satélite, pueden elegirse en la banda C (4/8 GHz) o en la banda Ku (11/14 GHz).

La banda C necesita unas antenas mayores, pero es menos sensible a las atenuaciones provocadas por la lluvia.

La atenuación atmosférica depende del ángulo de inclinación, y es mayor para aquellos satélites situados en los extremos del área que tienen que cubrir.

La frecuencia de transmisión empleada para transmitir información hacia el satélite es diferente de la frecuencia de la frecuencia empleada en las

comunicaciones desde el satélite. Para permitir un funcionamiento *full-duplex*, y es costumbre utilizar las frecuencias mas altas de la banda para las comunicaciones hacia el satélite. Los canales con una separación de frecuencias muy pequeña hacen uso de técnicas de polarización vertical y horizontal alternadamente.

El satélite intelsat II, lanzado en 1967, situándose en una órbita ecuatorial geostacionaria, fue el primero que dispuso de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA). Disponía de un repetidor de 130 MHz de ancho de banda a 4/6 GHz.

Los satélites Intelsat VI, lanzados desde 1987 en adelante, utilizan bandas estrechas y técnicas de multiplexación por división en el tiempo (TDMA) a fin de mejorar su eficiencia.

**4.1. EL TRANSPONDEDOR.**

En comunicaciones vía satélite se emplean antenas de microondas, para recibir las señales de radio procedentes de las estaciones emisoras en la tierra, y para devolver estas señales a otras estaciones terrenas. El satélite sirve de repetidor electrónico. Una estación terrena A transmite al satélite señales de una frecuencia determinada (canal de subida). Y posteriormente, el satélite recibe estas señales y las retransmite a otra estación terrena B, mediante una frecuencia distinta (canal de bajada). La señal de bajada puede ser recibida por cualquier estación situada dentro del cono de radiación del satélite, y puede transportar voz, datos o imágenes de televisión.

Como ya se mencionó, en las comunicaciones vía satélite, las señales de información son recibidas por el satélite en una banda de frecuencias y se retransmiten en otras, por lo que es necesario hacer un *traslado de frecuencias portadoras*. El traslado de frecuencias tiene como finalidad evitar interferencia entre dos o mas señales, tanto en la estación de satélite como en la de tierra. Para ello es necesario la intervención del sistema llamado *transponder* (transmitter-frequency translation repondet-receiver), receptor-transmisor que hace su trabajo por traslación de frecuencias.

Por lo tanto, la capacidad que posee el satélite de recibir y de retransmitir las señales de información, se debe precisamente a este dispositivo, llamado transpondedor. Los transpondedores de los satélites trabajan a frecuencias muy elevadas, generalmente en la banda de los gigahertzios. En la actualidad, la mayoría de los satélites operan a frecuencias de 4/6 GHz. Otros satélites poseen anchos de banda mayores con transpondedores de 14/12 GHz. A continuación se muestra un esquema sencillo del diagrama de flujo, de operación de un transpondedor, donde por la misma antena se recibe y se transmite la señal de radiofrecuencia, una vez que se filtra, se traslada a otra frecuencia y se amplifica.

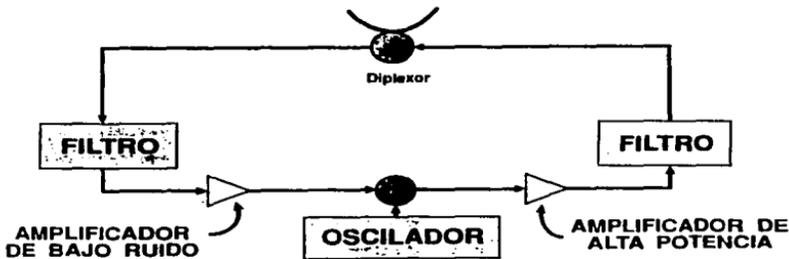


Fig. 4.1. EI TRANSPONDEDOR.

Resulta indudable que si el satélite de comunicación va a enlazar al menos dos estaciones terrenas haciendo uso de su sistema de transpondedores los cuales trabajan, como ya vimos, a altas frecuencias, entonces las estaciones terrenas a enlazar deberán estar provistas de un sistema similar de transmisión/recepción de información, para lograr la finalidad del satélite, permitiendo igualar respectivamente las frecuencias de operación para las portadoras.

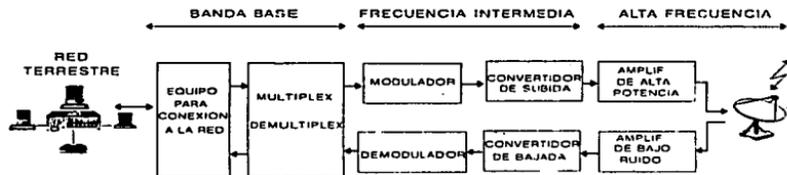


Fig. 4.2. ESTACION TRANSMISORA-RECEPTORA DE DATOS.

En la figura 4.2. se observa el esquema de operación de una estación terrena transmisora/receptora de datos, en la cual antes de que llegue la señal a la etapa de amplificación de potencia es necesario convertirla a la frecuencia de subida que le fue asignada previamente y que se encuentra en el rango de operación del transpondedor respectivo del satélite. Del mismo modo, cuenta con un convertidor de frecuencias en la recepción de la señal para su posterior recuperación.

### ***5. TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE AL SATELITE.***

Si el ancho de banda total de un satélite es de 500 MHz, por ejemplo el ancho de banda de un satélite que opera en banda C, este se divide en varios transpondedores, es decir; cada ranura corresponde a las frecuencias de trabajo de un transpondedor, usualmente son ranuras con anchos de banda de 36 MHz. Esto significa que el transpondedor de cada amplificador puede darle cabida a una gran diversidad de información que ocupe en total un ancho de banda de 36 MHz. Para la retransmisión, en este caso del satélite a tierra, se hace una división similar del ancho de banda comprendido entre 3.7 GHz y 4.2 GHz, con sus frecuencias centrales correspondientes.

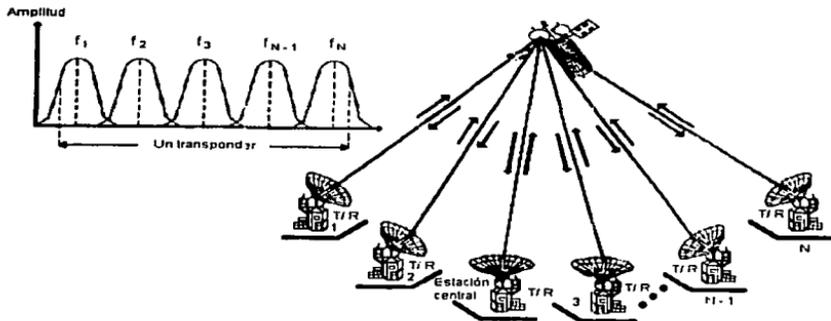
El acceso al ancho de banda del *transponder*, compartido al menos por dos estaciones terrestres, se lleva a cabo por medio de una de las técnicas de acceso múltiple al satélite, como son: FDMA, TDMA, CDMA o una combinación de estas.

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 mismo satélite de comunicación.

### **5.1. ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISION DE FRECUENCIA. FDMA.**

La técnica conocida como *acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)*, o *división de banda de frecuencias*, consiste en subdividir el ancho de banda de los transpondedores en frecuencias de portadora con un ancho de banda mas pequeño, asignando así una frecuencia específica a cada grupo de usuarios, esto es, los circuitos de las diferentes estaciones terrenas operan cada una con su frecuencia que le fue asignada, según la subbanda que usa para su transmisión/recepción. Por lo que todas las estaciones transmiten a la vez, en forma continua sin necesidad de sincronización y sin afectar de modo alguno en el caso de que uno de estos deje de transmitir, es decir; el enlace entre dos o más estaciones terrenas es independiente del buen o mal funcionamiento de los enlaces entre las estaciones restantes.

Cabe destacar que esta fue una de las primeras técnicas de acceso múltiple y todavía domina las comunicaciones mundiales por satélite.



**Fig. 5.1. CADA SUBINTERVALO DE FRECUENCIAS ES ASIGNADO A UNA ESTACION TERRENA.**

Es una extensión moderna de FDM ( Frequency Division Multiplexing) y se divide en:

— MCPC; Multi -Chanel-Per-Carrier, o numerosos canales de usuario por portadora. Indica el tráfico de multiusuario en una sola onda portadora de canales de estación transmisora/receptora. En instalaciones de gran capacidad el concepto se extiende incluso a multiplexaje de portadoras de señales FDM, a la salida de los grupos formados. Cada portadora puede modularse en frecuencia FM/FDMA o en fase PH/FDMA en función de las señales sucesivas entrantes.

En esta categoría se puede dar soluciones 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.

— SCPC; Single Chalen Per Carrier, un solo canal 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.

## 5.2. ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISION DE TIEMPO. TDMA.

El Acceso Múltiple por División de Tiempo TDMA, es un adelanto tecnológico que ha sido que ha sido relevante en las comunicaciones electrónicas modernas y con mucho porvenir en la sociedad futura con servicios automatizados integrados. Sus aplicaciones más sobresalientes están enfocadas a optimizar la utilización de los recursos del satélite artificial, operando éste como una estación de relevo espacial en subbandas de la banda de radar.

En la técnica TDMA el ancho de banda del *transponder* del satélite se comparte entre el número máximo de estaciones preestablecidas en una red de estaciones terrenas, en una forma análoga como se comparte la CPU de una computadora de multiusuarios operando por compartimento de tiempo.

Así como en el MTD, multiplexaje por división de tiempo, se concede un subintervalo de tiempo a cada usuario, en este caso los múltiples usuarios llenarán un intervalo designado a una estación o terminal terrena.

En circunstancias normales, la mayoría de las aplicaciones de TDMA utilizan intervalos de tiempo de duración fija, esto es *multiplexaje regular*. Así cada estación terrena transmite o recibe una ráfaga (que puede estar formada por subráfagas de diferentes usuarios) de señal en su respectivo turno dentro de un conjunto de estaciones, y luego permanece en espera sin transmitir señales de usuarios para dar oportunidad de acceso a otra estación terrena siguiente.

Pero para evitar colisiones de ráfagas de información, éstas estaciones, cómo saben en que momento transmitir y en qué momento dejar de hacerlo; para ello se necesita indispensablemente de un conjunto de temporizadores de control que indique mediante el envío de *señales de control* a éstas estaciones terrenas en qué momento deben acceder. En este caso se necesita de una *estación terrena maestra* la cual indica a las estaciones terrenas, mediante un canal de órdenes, denominado "*par de órdenes*", cuando pueden transmitir y recibir.

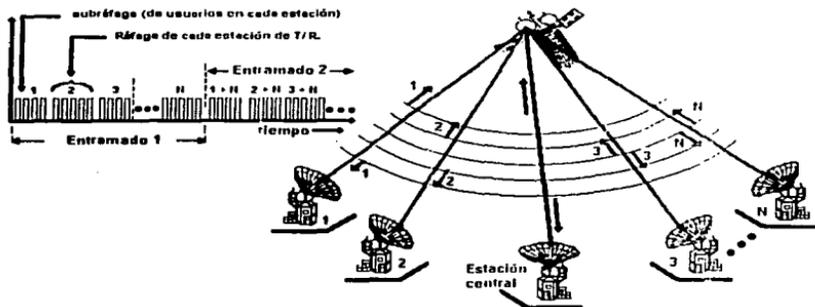


Fig. 5.2. CADA ESTACION TERRENA HACE USO DEL TRANSPONDEDOR EN UN SOLO EN CIERTOS INSTANTES DE TIEMPO.

La TDMA es, sin embargo, mas compleja y cara en la cual la potencia del emisor es mas elevada, pero no se producen las interferencias de intermodulación que se presentan cuando se emplean técnicas de FDMA.

Los datos se transmiten en tramas asignadas en el tiempo a cada usuario. Los sistemas típicos TDMA operan a 60 Mbits/s utilizando codificación por desplazamiento de fase FSK, sobre un transpondedor de 36 MHz de ancho de banda.

### 5.3. ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE CODIGO. CDMA.

Además de las dos técnicas de admisión múltiple mencionadas hay una tercera opción llamada *Acceso Múltiple por División de Código* CDMA.

Esta es una técnica dedicada a aquellas aplicaciones en las cuales se tiene un gran interés por maximizar la seguridad de las transmisiones, impidiendo al máximo que la conexión con el canal de comunicación sea fácilmente sintonizable por otra estación o equipo de recepción no deseable. Debido a que es una técnica que combina FDMA con TDMA, lo que hace es mantener el canal de comunicación establecido sobre una portadora por un lapso de tiempo muy corto para posteriormente cambiarlo a otra portadora dentro del transpondedor. Es decir, en el canal de comunicación establecido, las señales de información van "brincando" de portadora en portadora a intervalos temporales según las señales

del código de selección y sincronización en las terminales receptoras, donde dichas señales pueden ser enviadas desde una computadora que en la que se tenga el control centralizado. De este modo la secuencia correcta de cambios la seguirá únicamente la estación receptora que tenga el dispositivo selector de datos que siga al código aplicado en las entradas de selección, código que será enviado desde la estación de control en los instantes apropiados.

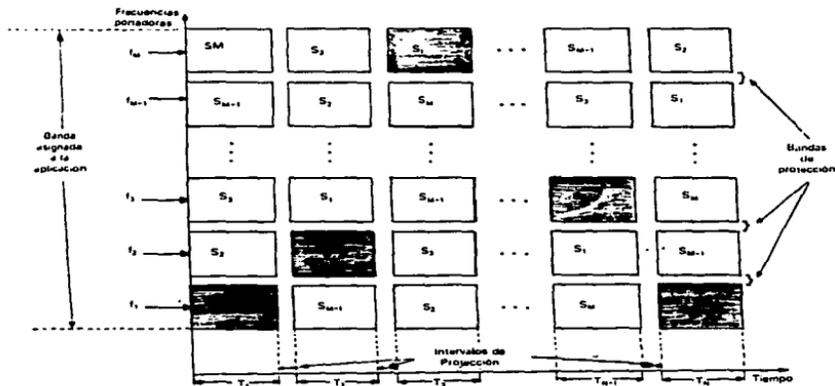


Fig. 5.3. ESQUEMA OPERATIVO DE UN SISTEMA CDMA.

Por ejemplo en la figura se ilustra por medio de rectángulos oscuros la posible ruta o camino que podría seguir una señal de información en las diferentes portadoras a intervalos de tiempo regulares.

Las técnicas de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) utilizadas por la mayoría de los satélites, están siendo reemplazadas por *técnicas de acceso múltiple por división en el tiempo* (TDMA), dado que pueden acomodarse mas canales en el mismo ancho de banda. Esta última técnica no necesariamente es con duración regular del intervalo asignado para transmisión de cada usuario origen a determinado usuario destinatario, ya que puede haber cierto plan preestablecido de asignación estadística del medio de transmisión; lo cual dependerá de la demanda de servicios y tendrá la finalidad de aprovechar mejor todo el ancho de banda del medios de transmisión es decir será de Acceso Múltiple por División de Tiempo y Asignación por Demanda DAMA o DATMA.

Para mejor comprensión de lo anterior, recuérdese el principio de multiplexaje por división en el tiempo TDM; los datos de un usuario (canal) y solo uno, y son los que están fluyendo en el medio durante un intervalo de tiempo, después el medio de transmisión lo ocupara otro par de usuarios en la sucesión por que uno transmitirá y el otro recibirá.

**CONCLUSION.**

Indudablemente uno de los factores más importantes en los medios de comunicación, es el tiempo, pues como se pudo observar, una pequeña fracción de tiempo será tan grande como tan rápido podamos realizar operaciones dentro de esa "ranura de tiempo", por lo que el avance de las comunicaciones en cuanto a transmisiones digitales masivas de información, depende no sólo de las nuevas tecnologías de los semiconductores; de la rapidez de respuesta, sino también del desarrollo de nuevas *técnicas de transmisión*, que acompañadas de los más modernos programas de comunicación (software), sean capaces de soportar un mayor número de canales de comunicación, ofreciendo mayor calidad, confiabilidad y rapidez de comunicación que completen su eficiencia.

Sin embargo, aunque en los más sofisticados sistemas de comunicación domina la tecnología digital, no es posible hablar de comunicaciones digitales puras, ya que como vimos a lo largo de este trabajo, los pulsos digitales son transmitidos a través de la atmósfera en forma de señales analógicas, las cuales son intervenidas a un ritmo codificado de pulsos digitales variando algún parámetro de la señal. Sin olvidar además que debido a la naturaleza analógica en que vivimos, así como la información de audio; por ejemplo, toda información analógica, debe ser convertida a su forma original al final de la transmisión, de lo contrario no representaría ningún tipo de información.

Por otra parte, las telecomunicaciones han cobrado tanta importancia que, hoy por hoy son un recurso de primera necesidad para toda nación, pues hoy en día se han considerado no sólo como un servicio público sino como un elemento esencial para el desarrollo, seguridad y soberanía nacionales. Donde la tecnología satelital de comunicaciones ha tenido principal relevancia por los servicios terrestres fijos y móviles que ofrece, revolucionando también las comunicaciones aeronáuticas y navales.

**GLOSARIO.**

**AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO:** Dispositivo por el que entran las señales recibidas por la antena, el cual tiene un ancho de banda de 500 MHz que tiene por objetivo reducir las interferencia provocadas por la fuentes de ruido.

**ANALOGICO:** Termino relacionado a la representación de cantidades físicas que varían continuamente, por ejemplo voltajes y frecuencias.

**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.

**BAUD:** Unidad de velocidad de señal igual al número de condiciones o eventos de señal discretos por segundo.

**BYTE:** Una serie de caracteres binarios (bit) sobre la que se opera como una unidad y por lo general más corta que una palabra de computadora. Por lo general esta compuesta de ocho bits.

**BIT:** Abreviatura de las palabras "binary digit" dígito binario.

**BPS:** Bit por segundo.

**CONVERTIDOR:** Etapa en un receptor que muestra la r.f. y señales de un oscilador local con la frecuencia intermedia como salida. Oscilador local que multiplica las señales que entran con otra generada localmente, obteniéndose las señales a frecuencias desplazadas.

**DATOS:** Información codificada por medio sistemas de transmisión eléctrica.

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

**DIGITAL:** Una señal discreta o discontinua que corresponde a los datos en forma de dígitos con dos valores únicos, ceros y unos.

**ESTACION:** Uno de los puntos de entrada y de salida de una red.

**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.

**HERTZ:** Igual que ciclos por segundo.

**MENSAJE:** Una comunicación de información desde una fuente a uno o más destinos, por lo general en clave.

**MODEM.** Contracción de las palabras "modulador demodulador".

**PORTADORA:** Frecuencia que se le asigna a todo tipo de información para poder ser transmitida en una frecuencia diferente a la propia de la señal.

**RED:** Un sistema que consiste de varios puntos terminales que pueden accederse entre sí por medio de una serie de líneas de comunicaciones y disposiciones de comunicación.

**RUIDO:** Señales indeseables que se originan en un canal de comunicación.

**TRANSPONDEDOR:** Nombre que se le da a la trayectoria completa de cada repetidor, comprendiendo todos sus elementos desde la salida de la señal por la antena receptora , hasta la entrada de la señal por la misma antena.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

**BIBLIOGRAFIA.**

**STREMLER**  
**SISTEMAS DE COMUNICACION.**  
MEXICO, ALFAOMEGA, 1995.

**LOPEZ SANCHEZ, RAFAEL.**  
**SISTEMAS ELECTRONICOS DIGITALES.**  
MEXICO, ALFAOMEGA, 1993.

**LARA RODRIGUEZ, DOMINGO, *et al.***  
**SISTEMAS DE COMUNICACION MOVIL.**  
MEXICO, ALFAOMEGA, 1992.

**UYLESS BLACK**  
**REDES DE COMPUTADORAS.**  
MEXICO, MACROBIT, 1990.

**SMALE, P. H.**  
**INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES.**  
MEXICO, TRILLAS, 1993.

**BROWN, J.**  
**TELECOMUNICACIONES.**  
MEXICO, MARCOMBO, 1978.