



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

116
257

**COMUNICACIONES.
TECNICAS DE TRANSMISION**

**TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
RAFAEL SANCHEZ SOLANO**

**ASESOR:
ING. JUAN GONZALEZ VEGA**

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

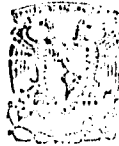
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

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

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

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

Comunicaciones
Módulos de transmisión

que presenta el pasante: Sánchez Solano Rafael
con número de cuenta: 8723641-1 para obtener el Título de:
Ingeniero Mecánico Electricista

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

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

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautilán Izcalli, Edo. de México, a 22 de Febrero de 19 96

| MODULO: | PROFESOR: | FIRMA: |
|-----------|-------------------------------|--------------------------|
| <u>I</u> | <u>Ing. Alfonso Contreras</u> | <u>Contreras Alfonso</u> |
| <u>II</u> | <u>Ing. Juan Gonzalez V.</u> | <u>JG</u> |
| <u>IV</u> | <u>Ing. Joel Sánchez P.</u> | <u>Joel Sánchez P.</u> |

DEP/VBOSEM

INDICE

| | |
|---|----|
| 1.- INTRODUCCION | 1 |
| 2.- INFORMACION DIGITAL | 6 |
| 2.1.- MULTIPLEXAJE | 6 |
| 2.2.- MODULACION | 5 |
| 3.- INFORMACION ANALOGICA | 6 |
| 3.1.- MULTIPLEXAJE | 6 |
| 3.2.- MUESTREO | 7 |
| 3.3.- CUANTIFICACION | 7 |
| 3.4.- CODIFICACION (PCM) | 9 |
| 3.5.- MODULACION | 11 |
| 4.- TECNICAS DE ACCESO MULTIPLE | 17 |
| 4.1.- CONSIDERACIONES DE INGENIERIA DE SISTEMAS DE ACCESO MULTIPLE | 17 |
| 4.2.- FDMA | 20 |
| 4.2.1.- FDM/FM | 22 |
| 4.2.2.- SCPC | 26 |
| 4.2.- TDMA | 27 |
| ·CONCLUSIONES | |
| ·GLOSARIO | |
| ·BIBLIOGRAFIA | |

INTRODUCCIÓN

Sin esperar al futuro, la utilización de los satélites como medio de comunicación, no solo permite extender hasta donde se precise el alcance de las redes convencionales terrestres de telefonía, de transmisión de datos, o de distribución y difusión de radio y TV, sino que ofrece otras posibilidades especialmente adecuadas para comunicación con vehículos terrestres, aéreos o marítimos. Los satélites de ayuda a la navegación, radio determinación y búsqueda y salvamento tienen un apoyo fundamental en los satélites.

En casos excepcionales de catástrofes, disturbios civiles y otras circunstancias en que los medios de telecomunicación normales resultan sobrecargados, inoperables o destruidos, la disponibilidad de sistemas permite establecer comunicaciones utilizando estaciones terrenas (E/T) transportables en los mismos lugares de la emergencia, o donde se precise situar un centro de operaciones y de enlace con las redes fijas disponibles.

Otras circunstancias menos dramáticas plantean necesidades temporales de comunicación de gran capacidad donde la red fija resulta insuficiente: encuentros deportivos, religiosos, políticos, etc., y se pueden utilizar E/T transportables para transmitir imágenes y sonido vía satélite, hasta otra u otras E/T receptoras situadas en los centros adecuados de las organizaciones de telecomunicaciones.

La utilización de los satélites supone un avance concluyente hacia unos sistemas de telecomunicaciones que supere definitivamente los condicionantes impuestos por la distancia. Este hecho se reflejará en el futuro en varios aspectos interrelacionados.

El precio de las telecomunicaciones será independiente de la distancia y solo se basará en la cantidad de información manejada.

La intensidad del tráfico de información alcanzará valores muy altos, incluso a nivel doméstico, y en íntima relación con la generalización de los nuevos medios y servicios.

Una infraestructura avanzada de telecomunicaciones que de espacio a innumerables posibilidades, permitirá a su vez la disminución efectiva de los costos unitarios del manejo de la información, propiciando el aumento de la demanda de los servicios y del número de fuentes capaces de prestarlos.

Ya que para la sociedad y para los individuos es tan importante el sentimiento de seguridad, las comunicaciones asumirán la potencialidad suficiente a todos los niveles para permitir, en cualquier circunstancia, que toda emergencia, riesgo o peligro para la persona o la colectividad, sean conocidos a tiempo en el cuerpo social y por el individuo junto con directrices de actuación adecuada.

La futura red mundial de intercomunicación será capaz de permitir que a todos alcance el progreso, y que cada individuo puede contactar con quien quiera en cualquier circunstancia, tanto en las aglomeraciones urbanas como en los parajes más solitarios y lejanos, y la difusión de todo tipo de información podrá alcanzar a todos los confines.

La red necesitará sistemas de telecomunicaciones poderosos cubriendo todas las distancias y todos los lugares, y en ellos se contará con diversas clases de satélites, por lo que el conocimiento de la tecnología y de la operatividad de los mismos habrá de generalizarse como ha ocurrido con otros medios.

Para promover el desarrollo de las telecomunicaciones y su total generalización es necesario la potenciación rápida de las redes telefónicas actuales, aumentando su capacidad para transformar todo tipo de señales. Ha de possibilitarse al usuario la interconexión de los aparatos terminales más variados, acorde con sus necesidades y con el estado de la técnica.

Pero no es sencillo ni inmediato llegar a la materialización de esa mejora de las redes a nivel nacional e internacional. Es frente a este reto donde la tecnología de los satélites aporta soluciones, en un plazo más inmediato, a gran variedad de requerimientos en las situaciones más dispares. De ahí la importancia de potenciar la capacidad técnica y de gestión de las entidades nacionales competentes reales o latentes abordables mediante soluciones vía satélite.

Como se verá se puede, transmitir tanto información analógica como digital, aplicando para cada tipo de información una técnica para su transmisión (figura 1).

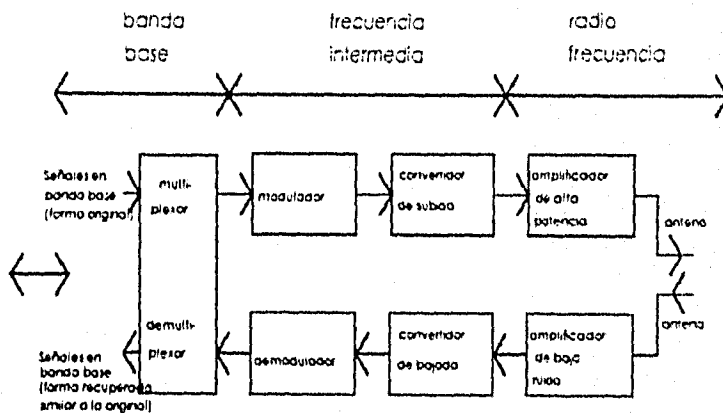


figura 1

SEÑAL BANDA BASE.- Este tipo de señal es el que generalmente se usa cuando nos referimos a términos como "información", "mensaje" o "datos". Para su transmisión en forma digital de una señal analógica, se somete al proceso de formateado.

FORMATEADO.- Es el primer paso en el procesamiento de la señal, permite que la señal de origen sea compatible con el procesamiento digital, transforma la información de origen en símbolos digitales.

SEÑAL INTERMEDIA.- Es la etapa donde se encuentra el módem (modulador-demodulador), el cual combina la forma de la señal original con la señal portadora, convirtiéndose en una señal de frecuencia intermedia (FI).

ALTA FRECUENCIA (RF).- El convertidor de subida y bajada (figura 2), es el encargado de transferir la señal de frecuencia intermedia a un frecuencias mucho mas altas(RF), para su transmisión se requiere el amplificador de potencia (para frecuencias de subida) o el amplificador de bajo ruido (para frecuencias de bajada).

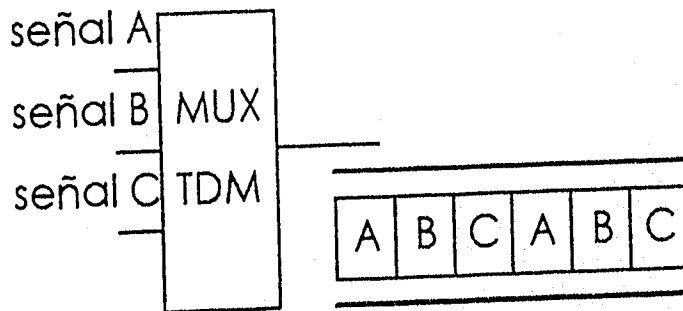
| BANDA | TX | RX |
|-------|---------------------|--------------------|
| C | 6 (5.925-6.425) GHz | 4 (3.7-4.2) GHz |
| KU | 14 (14.3-14.5) GHz | 12 (11.7-12.2) GHz |

figura 2

INFORMACIÓN DIGITAL

La información en banda base que es de forma digital se aplica directamente al modulador (si el tráfico así lo dicta, después de que una señal ha sido generada o producida -ya sea que consista en canales telefónicos, de televisión o de datos- previamente pueden haberse combinaciones necesarias de multiplexaje en tiempo).

La combinación de señales de tipo digital se lleva a cabo utilizando multiplexaje por división de tiempo (TDM) (figura 3). Es un sistema en el cual lo que se divide es el espectro temporal, y se asignan a los usuarios ranuras o intervalos de tiempo sobre el canal de comunicaciones. La principal limitación de este mecanismo, es que como la capacidad del canal se asigna previamente a cada usuario potencial, el canal se desaprovecha si hay usuarios que no transmiten con regularidad.



Multiplexaje por división de tiempo
figura 3

INFORMACIÓN ANALÓGICA

Si el tráfico así lo dicta, después de que una señal ha sido generada o producida -ya sea que consista en canales telefónicos, de televisión o de datos- previamente pueden hacerse combinaciones necesarias de señales analógicas usando multiplexaje en frecuencia.

El sistema de multiplexado por división en frecuencia (FDM) (figura 4), es el mecanismo por medio del cual el espectro total del canal, se divide en subcanales, que se asignan a los distintos usuarios, los cuales pueden enviar por ellos todo el tráfico que deseen, dentro del sector espectral asignado. Este método presenta dos inconvenientes principales. Por un lado, es necesario utilizar gran parte de la banda disponible como banda de seguridad para evitar que los canales adyacentes se interfieran. Por otra parte, si existen usuarios que no transmiten constantemente, se desperdicia gran parte del ancho de banda, ya que muchos subcanales permanecen vacíos.

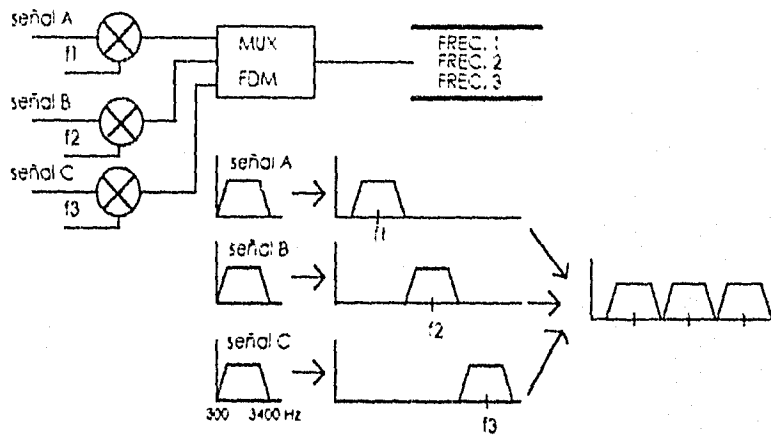


figura 4. Multiplexaje por división de frecuencia

Posteriormente este tipo de información requiere de un proceso el cual es llamado formateado, el formateado de las señales analógicas requiere de tres pasos:

- Muestreo

El proceso de muestreo consiste en tomar y analizar el valor que tiene una señal (muestra) a intervalos de tiempos regulares (velocidad de muestreo). La señal resultante de este proceso se conoce como señal PAM. Una virtud muy importante de este proceso es que la señal analógica puede ser reconstruida en su forma original utilizando un simple filtro pasa bajos cuya frecuencia de corte sea la adecuada.

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. La solución se logra mediante el teorema de muestreo o criterio de Nyquist que dice: Dada una señal de ancho de banda limitada que no tenga componentes espectrales por encima de la frecuencia f_m Hertz (señal original) esta señal puede ser determinada o representada mediante muestras tomadas a intervalos de tiempos regulares a una frecuencia f_s (frecuencia de muestreo) igual o mayor a dos veces f_m .

$$f_s \geq 2f_m$$

- Cuantificación

La cuantización es el proceso de mapear las muestras tomadas de una señal de amplitud continua para obtener un número finito de posibles valores de amplitud.

En general la cuantización uniforme o lineal es realizada por convertidores analógico/digital y cumple características de que es poco sensible a cambios pequeños de la señal de entrada.

La cuantización no uniforme, se lleva a cabo subdividiendo el rango dinámico de entrada en niveles o intervalos irregulares, el proceso de cuantización no uniforme, se caracteriza cuando la señal de entrada es primeramente modificada mediante un "mapeo" de niveles, con el que el rango original de nivel de entrada es modificado (los intervalos de cuantización son modificados de manera pequeña para señales pequeñas y grandes para señales grandes) . Esta acción se conoce como **compresión** (fig. 5). Una vez que ha sido modificado por el compresor, la señal es cuantizada uniformemente y puesta a disposición del sistema para su transmisión.

En el lado del receptor la señal cuantizada es sometida a un proceso de mapeo inverso al de compresión, conocido como **expansión** (fig.5).

En la práctica el circuito que desempeña esta función de compresión y expansión recibe el nombre (en inglés) de **COMPANDER** (COMPressor-exPANDER) (fig.5).

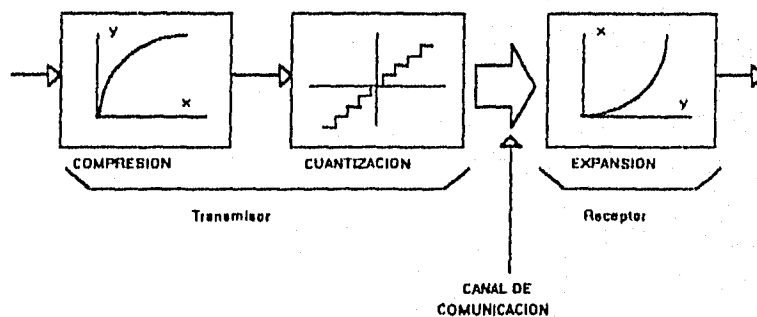


figura 5.- CUANTIZACION NO UNIFORME

La característica de compander, para la digitalización de la voz, se lleva a cabo utilizando la cuantización no uniforme mediante el uso de la técnica de compresión cuya características se puede agrupar en la llamada LEY "A" (Fig. 6) (Usada en Europa y México).

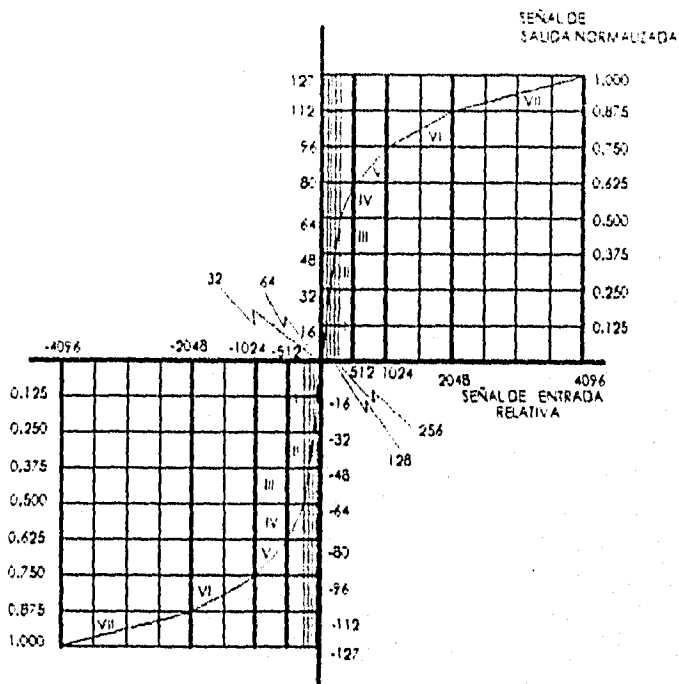


FIGURA 6.- COMPANDER PARA LEY "A"

- Codificación

El tipo de codificación que es mas usado es el conocido como Modulación de Pulsos Codificados ó PCM.

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

$$L = 2^n$$

L = Número de intervalos de cuantización

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

La representación del cualquier valor PCM de entrada (figura 7).



figura 7

MSB.- Primer bit, nos da la polaridad (1 = "+", 0 = "-")

abc.- Indica el segmento (de 1 a 7 segmentos)

wxyz.- Representa el intervalo en el que cae la señal (de 1 a 16 niveles de cuantización)

Después de haber sido codificada la señal PCM en forma binaria el resultado será una señal unipolar en la cual se tendrá un importante factor indeseable (para poder transmitirse directamente) .

Para resolver este problema existen diferentes tipo de códigos de línea que convierten la señal unipolar en bipolar. La gran cantidad de códigos de línea para PCM se debe a que cada uno de estos códigos presenta características especiales para una u otra aplicación.

Entre los parámetros más importantes a examinar cuando se analiza un código de línea están los siguientes.

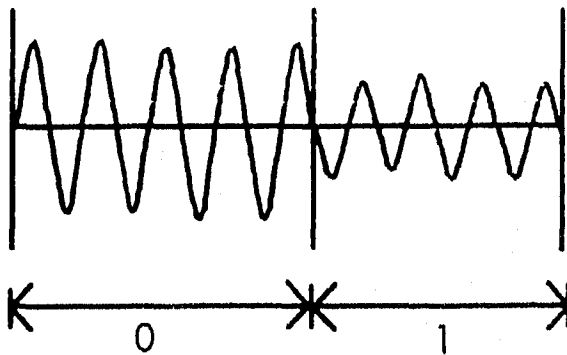
- Componentes de CD: La ausencia de componentes de baja frecuencia en una señal permite su acoplamiento en CA con otros sistemas. (Existencia de intervalos repetitivos de secuencias de "unos" o "ceros" consecutivos)
- Autosincronización: Esta propiedad permite al receptor sincronizarse a nivel de bit con la señal de entrada, sin necesidad de que exista otra señal de sincronización.
- Detección de errores: Algunos códigos permiten la detección de errores sin necesidad de introducir bits adicionales para dicho propósito.
- Comprensión de ancho de banda: Código como los de tipo multibit, incrementan el uso eficiente del ancho de banda disponible.
- Inmunidad al ruido: Algunos códigos presentan mayor inmunidad al ruido que otros: por ejemplo, los códigos NZR son mejores en ese sentido que los RZ.

MODULACIÓN

El modulador de la estación combina la forma de la señal original con la señal portadora, modificando el ancho de banda de frecuencia y la posición de la información dentro del espectro radioeléctrico, la cual es transferida a frecuencias más altas; este paso de la señal modulada a "frecuencia intermedia" es el primero en su ascenso de conversión a microondas. Aunque el modulador coloca a la señal modulada en una región más alta

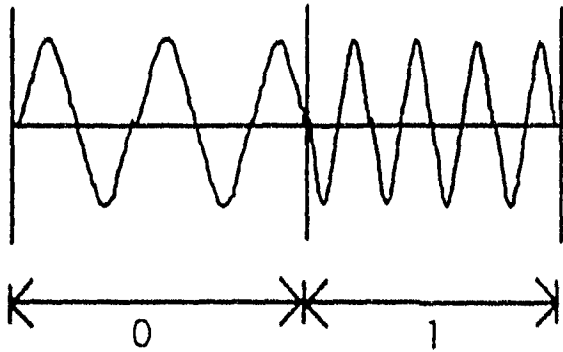
del espectro radioeléctrico, la frecuencia intermedia (FI) no es adecuada todavía para radiarla eficientemente a través de la atmósfera. Por lo tanto, es necesario subirla más en frecuencia, empleando para ello un equipo convertidor elevador de frecuencias.

La modulación es usada también para cambiar la banda de frecuencia del espectro de una señal hacia otra banda donde sea más sencilla el filtrado o amplificación de la misma. Existen tres tipos de modulación básica los cuales son: la modulación en ASK (fig.8) modifica la amplitud de su portadora de acuerdo con el flujo de bits que han de enviar. En este caso, una amplitud más elevada representa un cero, y una amplitud más baja representa un uno. Un sistema más extendido es la FSK (fig.9), que consiste en variar la frecuencia, manteniendo constante la amplitud. Un 1 binario se representa con una determinada frecuencia, y un 0 binario con otra distinta. Otro sistema es la modulación PSK (fig.10), que consiste en alterar de forma abrupta la fase para representar el cambio de 1 a 0 y de 0 a 1.

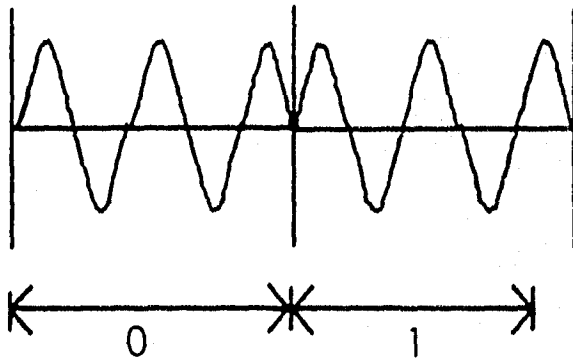


Modulación en amplitud (ASK)

figura 8



Modulación en frecuencia
figura 9



Modulación en fase
figura 10

El sistema de comunicaciones vía satélite usa una modulación bastante común en los radios digitales conocida como QPSK (PSK en cuadratura).

Esta modulación se lleva a cabo separando en cuadratura los pulsos bipolares originales de manera que se obtengan en forma separada los bits noches y pares. Para luego hacer que cada uno de estos trenes de pulsos modulen a dos señales senoidales que tienen una diferencia de fases de 90° (ortogonales) (fig.11).

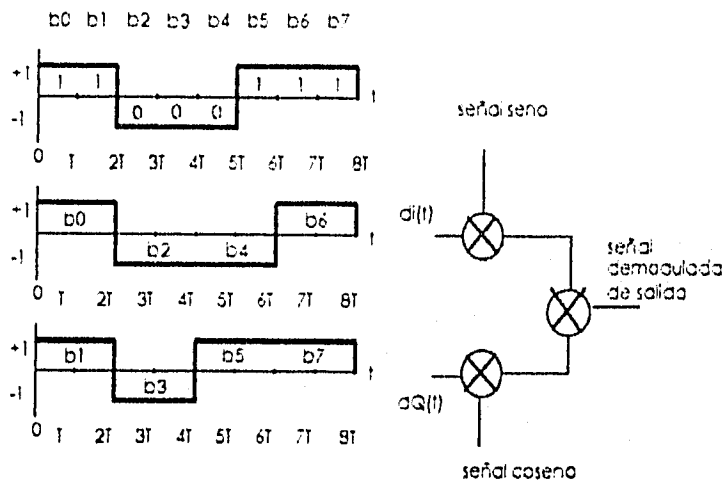


figura 11.- Modulación QPSK

Para poder deducir el valor de salida resulta muy útil el uso de coordenadas cartesianas en las que el eje de las X representa el valor de la señal en cuadratura, mientras que el eje de las Y representa el valor de la señal en fase (fig.12).

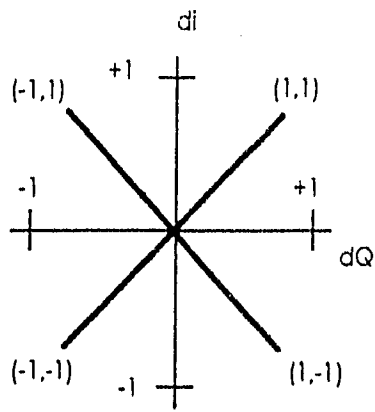


figura 12.- Generación de ángulos de fase en QPSK

Después de esta etapa entra a un convertidor elevador (fig 1) el cual transfiere, a la señal de la frecuencia intermedia -que dependiendo del sistema puede tener una frecuencia central de 70 MHz, 140 MHz, 1 GHz o más- a una posición dentro del espectro radioeléctrico en donde las nuevas frecuencias que la integran son mucho más altas que cuando salieron del demodulador. La señal tiene ahora las frecuencias apropiadas para ser radiadas hacia el satélite, pero su nivel de potencia es aun muy bajo, por lo que es preciso amplificarla antes de entregársela a la antena; para eso se utiliza un amplificador de alta potencia o HPA.

En el lado receptor se realiza la tarea inversa, como se observa en la figura 1 el primer bloque es el amplificador de bajo ruido (LNA), el cual tiene una "temperatura de ruido" como su principal parámetro indicativo, y mientras esta sea más baja tanto mejor, porque el ruido que se añade a la señal es menor y la calidad de la recepción aumenta.

Seguendo la figura 1, se observa que después del LNA van conectados en cadena un convertidor reductor de frecuencias y un demodulador, sin contar con algunos filtros intermedios. La señal de salida del amplificador contiene toda la información radiada por el satélite en una banda de operación con ancho de 500 MHz, situada aun en la misma región del espectro radioeléctrico; el convertidor reductor tiene como función transferir toda esa información de 500 MHz a una región mas baja del espectro, centrándola en una frecuencia intermedia (FI) de recepción, es decir, haciendo una operación inversa al convertidor elevador de la estación transmisora.

La señal de frecuencia intermedia que sale del convertidor reductor aun esta modulada y el paso siguiente para recuperarla es su forma original (banda base) es precisamente demodularla. En realidad, la señal nunca se recupera exactamente como era en su forma original, ya que diversos factores -como el ruido térmico y el de intermodulación-, se encargan de distorsionarla.

TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE

En todos los sistemas de comunicación existe el problema de compartir el mismo medio de transmisión por un número diverso de usuarios.

Los sistemas de comunicación vía satélite no están exentos de este problema, sino que, por el contrario, se acentúa debido a las limitaciones que existen actualmente en los satélites en cuanto a capacidad de transmisión se refiere.

A fin de permitir compartir el ancho de banda y la potencia del satélite, diferentes soluciones conocidas como sistemas de acceso múltiples, han sido ideadas.

El acceso múltiple se define como la técnica donde más de un par de estaciones terrenas pueden usar simultáneamente un transpondedor de un satélite. (buscando un equilibrio entre el ancho de banda y la potencia disponible en los transpondedores.)

CONSIDERACIONES DE INGENIERÍA DE SISTEMAS DE ACCESO MÚLTIPLE

Un diseñador de comunicación vía satélite se encuentra siempre ante la disyuntiva de seleccionar el mejor sistema de acceso múltiple para su aplicación en un problema particular. Para poder decidir cual técnica se adapta mejor a una aplicación, diversos factores deben ser considerados. Los factores que son normalmente usados para evaluar la efectividad de una técnica de acceso múltiple para una aplicación particular son:

a) **CAPACIDAD.**- La capacidad de un sistema de acceso múltiple se define usualmente en términos de canales de voz/vlo datos de una calidad específica que pueden ser acomodados utilizando la potencia y el ancho de banda de un transpondedor. Usualmente, al seleccionar un sistema, el de mayor capacidad es el más deseable. Sin embargo, los requerimientos de la red pueden conducir a la selección de un sistema que proporcione una capacidad total menor, pero un mayor factor costo-beneficio.

b) **POTENCIA Y ANCHO DE BANDA.**- Potencia y ancho de banda son los recursos primordiales de un enlace de satélite. La disponibilidad de estos recursos en un sistema de comunicaciones via satélite se encuentra reflejado directamente en su costo. Para utilizar la potencia y el ancho de banda disponibles eficientemente, el sistema de acceso múltiple deberá ser diseñado para estar limitado simultáneamente tanto en potencia como en ancho de banda.

c) **INTERCONECTIVIDAD.**- La topología de la red para varios servicios de comunicaciones, determinará los requerimientos de interconectividad. Redes sencillas punto a punto pueden, a menudo, ser servidas económicamente por otras técnicas de transmisión de banda amplia tal como los sistemas de fibra óptica. Sin embargo, en una topología multinodal, la habilidad de una técnica de acceso múltiple para proveer interconectividad entre diversos usuarios a diferentes tasas de datos y niveles de calidad, hace posible considerar a los satélites como la solución con una mejor relación costo-beneficio.

d) **ADAPTABILIDAD DE CRECIMIENTO.**- Debido a que la inversión en equipo de acceso múltiple puede representar un costo significativo del total del sistema terrestre, los diseñadores deben considerar la habilidad de la técnica seleccionada para adaptarse al crecimiento de tráfico y cambio de los patrones del mismo.

e) **ACOMODAMIENTO DE SERVICIOS MÚLTIPLES.**- La utilización de redes digitales de servicios Integrados (ISDN) implica que servicios múltiples, tales como aplicaciones de voz, datos e imagen compartan las mismas facilidades de transmisión. Los sistemas de acceso múltiple deben ser diseñados para acomodar servicios de ISDN.

f) **INTERFAZ TERRESTRE.**- La interconexión con facilidades terrestres existentes que proveen la última milla entre una estación terrena y el usuario, es extremadamente importante en la efectividad técnica y económica completa del sistema de acceso múltiple. A medida que un mayor número de interconexiones llega a ser disponible, llega a ser más atractiva el emplear las técnicas digitales.

g) **SEGURIDAD DE COMUNICACIÓN.**- A pesar de que en el pasado la mayoría de las consideraciones de la seguridad de comunicación habían sido relegadas a aplicaciones militares, los sistemas de comunicación de satélites comerciales modernos deben ahora encarar el problema de proteger datos confidenciales en un ambiente satelital que es vulnerable a recepción no autorizada.

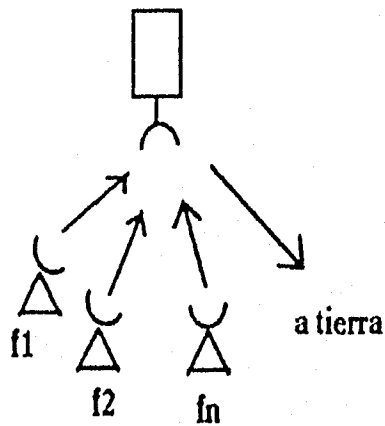
h) **COSTO-BENEFICIO.**- El costo por canal de implementar un acceso múltiple es una consideración importante para ingenieros de sistemas. Debido al acelerado desarrollo de técnicas digitales en recientes años, el interés en su aplicación se incrementa día a día. Sin embargo, en algunos casos las técnicas analógicas pueden tener aun un mejor costo-beneficio.

Entre los diversos sistemas de acceso aplicado actualmente, existen dos tipos fundamentales de sistemas de acceso múltiple los cuales se verán a continuación.

ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA (FDMA)

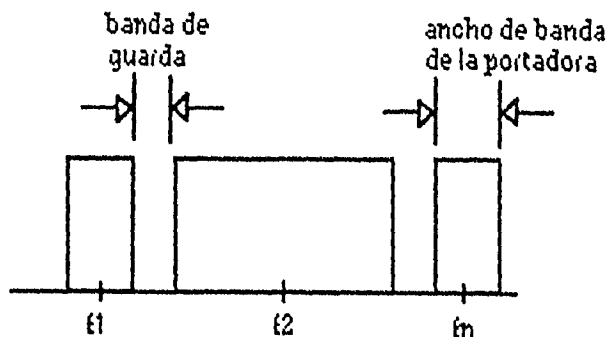
Los sistemas de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), segmentan el ancho de banda de un transpondedor para la transmisión de portadoras múltiples. El ancho de banda asociado con cada portadora puede ser tan pequeña como el destinado a un canal de 9.6 Kbps. FDMA puede ser utilizado para transmisión con modulación analógica o con modulación digital.

Representa el sistema de acceso mas simple y consiste en la transmisión simultánea de un número diverso de portadoras a diferentes frecuencias con anchos de banda no traslapados. (figura.13)



FDMA

figura.13



Concepto de un sistema FDMA
figura.13 (continuación)

En este tipo de acceso, a cada señal se le asigna una frecuencia y los productos de intermodulación del amplificador de transmisión, ocasionados por la presencia simultánea de un número diverso de portadoras, son minimizados ya sea, por una adecuada selección de la frecuencia de los canales, o bien por la reducción de los niveles de potencia de entrada para permitir una operación casi lineal.

El formato del canal utilizado en FDMA depende de la distorsión de la señal, de la interferencia de los canales adyacentes y de los efectos de intermodulación causados por los alienadores del transpondedor del satélite.

En el caso de la transmisión de varias portadoras en un mismo transpondedor, se deben utilizar bandas de guarda entre los canales adyacentes para minimizar la interferencia entre dichos canales disminuyendo, por lo tanto, la eficiencia de utilización del ancho de banda del transpondedor. El tamaño de estas bandas de guarda debe considerar las imperfecciones de los filtros empleados en los transmisores, así como los corrimientos de

frecuencia de los osciladores que controlan la operación de los convertidores de frecuencia empleados.

En FDMA, la capacidad de ancho de banda de un transceptor se divide, generalmente, en el siguiente tipo de bandas:

(a) Se pueden tener pocas bandas de gran capacidad donde cada banda puede manejar un nivel jerárquico del multiplexaje por división de frecuencia con modulación en frecuencia (FDM / FM).

(b) Se pueden tener muchas bandas cada una de las cuales puede manejar un canal analógico o digital. Este tipo de esquema se conoce como canal único por portadora (SCPC - Single Channel Per Carrier).

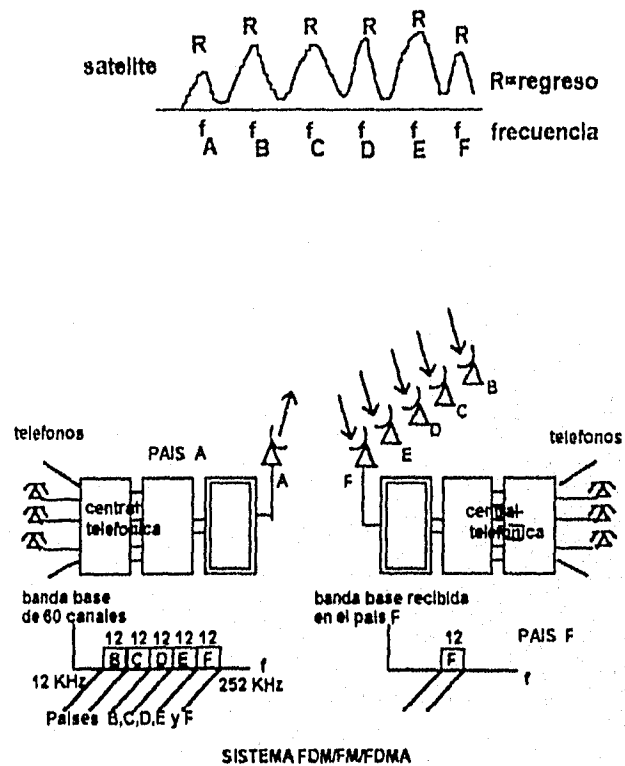
(c) Se puede tener una mezcla de las dos anteriores categorías.

En la figura.13, Cada transceptor puede subdividirse en varias ranuras de frecuencia para su utilización en FDMA.

FDM/FM (multiplexaje por división de frecuencia con modulación en frecuencia)

En la técnica de acceso FDM/FM/FDMA, cada estación terrena arregla los canales y grupos de canales de entrada en subgrupos de 60 canales que ocupan una banda base de 252 KHz o bien, grupos de 12 canales con un ancho de banda de 48 KHz, cuando de los requerimientos de tráfico son menores.

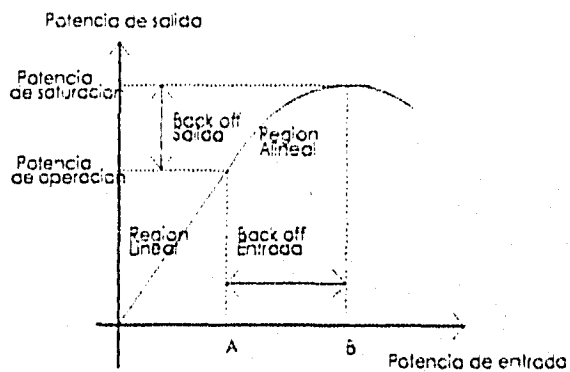
El subgrupo emitido por una estación A en particular, contendrá canales con destinación diferente. Sin embargo, los canales modulan en frecuencia a una portadora en el rango de $70 \text{ MHz} \pm 18 \text{ MHz}$. Después, esta portadora será convertida a una frecuencia mayor para ser radiada a través de la antena. Todas las estaciones que reciben señales de la estación A demodulan la portadora, que tiene un ancho de banda de 5 MHz, y extraen los canales que les corresponden mediante un proceso de filtrado. (figura. 14)



SISTEMA FDM/FM/FDMA

figura. 14

Al haber varias portadoras presentes en el mismo transpondedor de un satélite, y debido a la característica no lineal del amplificador de Tubo de Ondas Progresivos (TOP), es necesario operar este último con varios decibeles abajo de su punto de saturación o nivel máximo de potencia de salida. A esta reducción de potencia aprovechable se le denomina Back-off (BO) de salida. Si el amplificador se opera en un rango altamente no lineal, se producirán niveles muy altos de productos de intermodulación que afectarían significativamente la calidad de las señales amplificadas. Al observar la característica típica entrada/salida de un amplificador de tubo de ondas progresivas (TOP) puede notarse que el Back-off de entrada no es proporcional al Back-off de salida más allá del punto A. Es deseable, por lo tanto, operar el transpondedor en la región comprendida entre el origen y el punto A, que representa la región lineal del dispositivo figura.15. Por ejemplo, el Satélite Morelos I opera con un Back-off de 4.5 db.



Operación de un amplificador de satélite

figura. 15

En los sistemas FDM/FM/FDMA, la capacidad de un transpondedor operando, varía de acuerdo al número de portadoras, la cual está íntimamente ligada al número de estaciones accediendo el transpondedor.

La figura 16 muestra la variación del número de canales para un número diferente de portadoras. Como puede notarse la capacidad más alta ocurre cuando se tiene presente solamente una portadora en el satélite y disminuye a medida que las portadoras en el transpondedor aumentan.

| Nº de portadoras | Ancho de banda de portadora (MHz) | Nº de canales por portadora | Nº total de canales en transpondedor |
|------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 36 | 900 | 900 |
| 4 | 3 de 10 y 1 de 5 | 132 60 | 456 |
| 7 | 5 | 60 | 420 |
| 14 | 2.5 | 24 | 336 |

figura. 16

Los transpondedores de 36 MHz, normalmente se operan con portadoras de 2.5 MHz, 5 MHz ó 10 MHz para este tipo de sistemas. Ocasionalmente se emplea todo el transpondedor por una sola portadora para telefonía (en este caso se tiene acceso único y no múltiple). En el caso de Televisión, se puede tener una portadora con 36 MHz en acceso único también, dos canales de 18 MHz en el mismo transpondedor. En el caso de

México, el Satélite Morelos emplea este tipo de canal de 18 MHz para su difusión de TV.

FDMA/FM/FDMA es muy eficiente en el aprovechamiento del espectro en el sentido de cada enlace entre dos estaciones tienen asignada una frecuencia única que no puede ser utilizada por ningún otro enlace en ningún momento, a menos que se emplee reutilización de espacio (SDMA) o de frecuencia con otra polarización. Este es el caso del sistema Morelos de Satélites, donde se tiene una reutilización de frecuencias de banda C empleando polarizaciones vertical y horizontal (figura.13)

- SCPC (canal único por portadora)

La técnica de canal único por portadora (SCPC) tiene gran aplicación cuando se desea interconectar un gran número de estaciones terrenas de muy baja capacidad o demanda de tráfico y consiste en que cada canal se le asigna una frecuencia portadora de RF, misma que es modulada por la señal en FMA ó PSK (fig. 17). Dado que en telefonía las llamadas son aleatorias, el espectro del transpondedor se puede aprovechar eficientemente si las frecuencias portadoras de RF se asignan temporalmente a las estaciones terrenas, es decir, únicamente mientras tengan información que enviar. Cuando una estación A termina de transmitir su información, la frecuencia de portadora que se le había asignado pasa a un banco de frecuencias controlado por una computadora central. Si otra estación B desea entonces establecer un enlace, la computadora central le asigna una de las frecuencias disponibles en el "banco" y quizá se le otorgue la misma frecuencia que antes había utilizado la estación A. Como el sistema funciona con base a este banco de frecuencias y el criterio de "servicio a que pida primero", la técnica recibe el nombre de DAMA (Demand Assignment Multiple access o acceso múltiple de asignación por demanda). Cuando los canales de voz están

codificados en PCM (de acuerdo a recomendaciones vigentes de CCITT, la técnica se conoce como SPADE (Single Channel Per Carrier PCM Multiple Access Demanda Assignment Equipment ó equipo de asignación por demanda en acceso múltiple para canal PCM único por portadora).

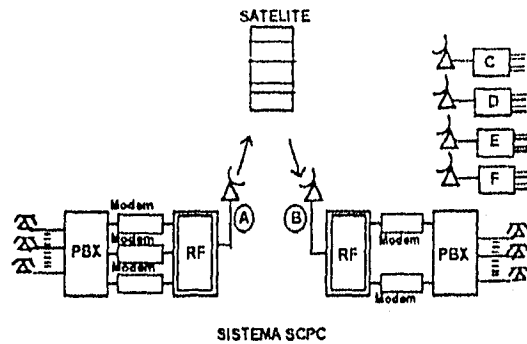


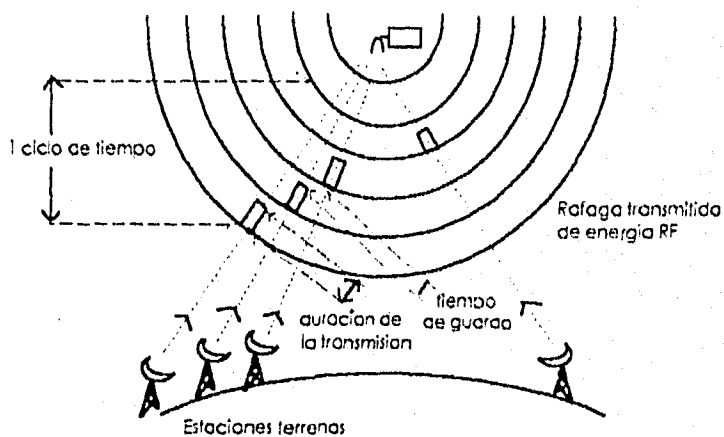
FIGURA.17

ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TDMA)

Los sistemas de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), se caracterizan por la utilización de una frecuencia de portadora única por transpondedor, donde el ancho de banda asociado con dicha portadora es en algunos casos el ancho de banda completo del transpondedor. Este ancho de banda es compartido en tiempo por todos los usuarios en una ocupación de ranura de tiempo. A pesar de que la ventaja primordial de TDMA es concebida en un sistema que utiliza el ancho de banda completo del transpondedor. Existen casos donde dicho ancho de banda puede ser una fracción del ancho total. TDMA es recomendado exclusivamente en transmisiones que utilizan modulación digital.

El acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) es una técnica de acceso múltiple que permite recibir en el satélite las transmisiones de las diversas estaciones terrenas de la red con esquema de ranuras de tiempos separadas y evita, por lo tanto, la generación de productos de intermodulación en un transpondedor no lineal. Cada estación terrena debe determinar con precisión el tiempo y rango de adulsión de la señal de tal manera que las señales transmitidas son temporizadas para arribar al satélite en la ranura de tiempo apropiada.

La figura 18 muestra la configuración típica de una red TDMA en la cual cada ráfaga de alta velocidad de energía de RF, típicamente con modulación QPSK, arriba al satélite en su ranura de tiempo asignada. Debido a que solamente una señal se encuentra presente en un momento dado en el transpondedor, no existirán productos de intermodulación.



CONFIGURACIONES TDMA TÍPICA
PARA CUATRO ESTACIONES

figura. 18

ESTA TERCERA PARTE
SALIR DE LA BARRERA

TDMA permite operar el amplificador de potencia de salida en saturación, resultando en un incremento significativo en la potencia útil de salida. Las degradaciones debidas a productos de intermodulación son omitidas si se emplean tiempos de guarda suficientes que compensan inexactitudes de la temporización del sistema. Típicamente estos tiempos de guarda consumen menos del 10% de la potencia y el transpondedor es utilizado, como consecuencia, con eficiencias mayores del 90%.

Cada una de las señales de entrada TDMA tiene señales de entrada que son direccionadas a diferentes estaciones utilizando porciones separadas de la ráfaga TDMA que sigue a la ráfaga de preámbulo. El receptor TDMA demodula cada una de las ráfagas TDMA enviadas por las estaciones transmisoras y las demultiplexa en flujos de bits individuales. (figura. 19)

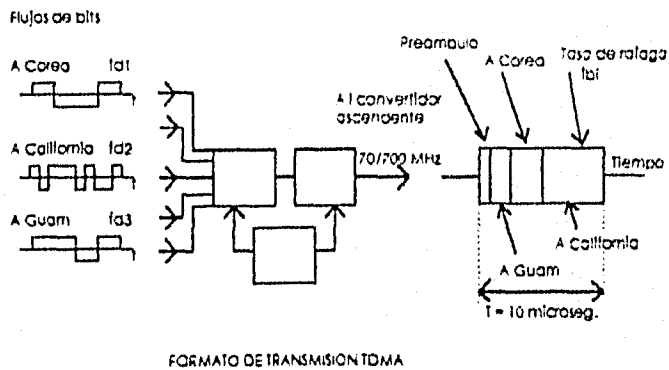


figura. 19

CONCLUSIONES

Los sistemas de acceso múltiple proveen transmisiones analógicas o digitales a través de los diferentes transpondedores de los satélites.

Contempladas como un grupo, estos sistemas de acceso proveen diferentes alternativas al diseñador de sistemas. Cada sistema tiene bien definida su aplicación.

Por ejemplo, SCPC opera mejor en redes constituidas por un gran número de usuarios, cada uno de ellos con una densidad de tráfico relativamente baja. SCPC provee acceso múltiple al nivel de canal individual proporcionando, por lo tanto, al pequeño usuario con la ventaja de acceso múltiple.

MCPC o canales múltiples por portadora (como en el caso de FDM/FM), opera muy eficientemente en aplicaciones punto a punto de alta capacidad con pocas (1 o 2) portadoras de banda ancha ocupando el transpondedor. Esto limita la aplicación del acceso múltiple al transpondedor, pero proporciona, en contraste, un gran número de canales. Sin embargo, a medida que el número de portadoras se incrementa en el transpondedor, los costos por utilizar este sistema de acceso múltiple aumentan y la capacidad del sistema MCPC disminuye.

Por su parte, TDMA proporciona una solución adecuada para aquellas redes con un número intermedio o elevado de estaciones y con altos requerimientos de tráfico por estación.

La figura 21 ejemplifica la capacidad en MHz del ancho de banda del transceptor contra el número de accesos (o estaciones terrenas) en una red particular.

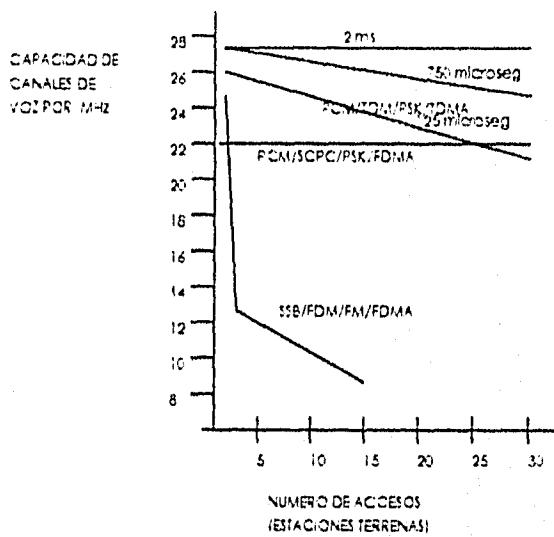


figura.21

Como puede apreciarse, la capacidad de SCPC es insensible al número de usuarios de la red. Es por lo tanto la más adecuada para redes formadas por un gran número de usuarios de capacidad baja.

MCPC por su lado, tiene un adecuado comportamiento cuando el número de estaciones es reducido y cuentan con una gran capacidad.

TDMA proporciona una capacidad adecuada a medida que la longitud del cuadro, como función del número de accesos, es lo suficientemente larga para proporcionar una alta eficiencia de cuadro. Como puede notarse, con tiempos de cuadro relativamente bajos, la capacidad de TDMA se degrada con el número de accesos debido a la disminución de capacidad ocasionada por el overhead asociado con cada nueva ráfaga añadida al sistema. Sin embargo, para tiempos de guarda grandes, la curva de capacidad TDMA es prácticamente plana y es relativamente insensible al número de usuarios.

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

| | | |
|------|------------------------------------|--|
| ASK | Amplitude shift keying | Modulación con cambio o conmutación de amplitud |
| DAMA | Demand assigned multiple access | Acceso múltiple con asignación por demanda |
| FDMA | Frequency-division multiplex | Multiplexaje por división en frecuencia |
| FDMA | Frequency-division multiple access | Acceso múltiple por división en frecuencia |
| FM | Frequency modulation | Modulación en frecuencia (frecuencia modulada) |
| FSK | Frequency shift keying | Modulación con cambio o conmutación de frecuencia |
| HPA | High power amplifier | Amplificador de potencia (Ft) |
| IF | Intermediate frequency | Frecuencia intermedia (Fi) |
| LNA | Low noise amplifier | Amplificador de bajo ruido |
| PAM | Pulse amplitude modulation | Modulación de pulsos codificados |
| PCM | Pulse code modulation | Modulación por codificación de pulsos (pulsos codificados) |
| PSK | Phase shift keying | Modulación con cambio o conmutación de fase |
| QPSK | Quaternary phase shift keying | Modulación PSK de cuatro fases |
| RF | Radio-frequency | Radiofrecuencia |

| | | |
|-------|--|---|
| SCPC | Single channel per carrier | Canal único por portadora |
| SPACE | Single channel per carrier PCM multiple access demand assignment equipment | Acceso múltiple con asignación por demanda, con canal único por portadora modulada en PCM |
| TDM | Time-division multiplex | Multiplexión por división en el tiempo |
| TDMA | Time-division multiple access | Acceso múltiple por división en el tiempo |
| TWT | Traveling-wave tube | tubo de ondas progresivas (TOW) |

BIBLIOGRAFIA

LOS SATELITES DE COMUNICACIONES

J. J. G. RUIZ DE ANGULO

MACROMBO

SATELITES DE COMUNICACIONES

RODOLFO NERI VELA

MC GRAW HILL

SISTEMAS DE COMUNICACION

B. P. LATHI

INTERAMERICANA

REDES DE COMPUTADORAS

UYLESS BLACK

MACROBIT

FUNDAMENTOS DE COMUNICACIONES DIGITALES

TELEDATA TECHNOLOGY