



97.
21

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**"TECNICAS DE TRANSMISION DE
INFORMACION VIA SATELITE"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

RODOLFO LOPEZ GONZALEZ

ASESOR: ING. JUAN GONZALEZ VEGA.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1997



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, A. M.
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES SUPERIORES-CUAUTITLÁN



ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

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

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:
"Técnicas de Transmisión de Información Vía Satélite".

que presenta el pasante: Rodolfo López González
con número de cuentas: 8262650-7 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista.

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 23 de Mayo de 1997

PRESIDENTE Ing. Antonio Herrera Mejía

VOCAL Ing. Esteban Corona Escamilla

SECRETARIO Ing. Juan González Vaga

PRIMER SUPLENTE Ing. Ubaldo Ramírez Utrera

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Alfonso Contreras Márquez

[Firma]
[Firma]
[Firma]
[Firma]
[Firma]

A DIOS:

**POR CONCEDERME LA OPORTUNIDAD DE TENER UNA MISION
EN LA VIDA**

A MIS PADRES :

ELEAZAR LOPEZ BOSCH

Y

JOSEFINA MARGARITA GONZALEZ

POR SU VALIOSA HERENCIA: PRINCIPIOS Y EDUCACION

A MIS HERMANAS:

ROCIO, BEATRIZ , CLAUDIA Y NENO (MARGARITA)

**POR SU APOYO EN TODO MOMENTO EN EL QUE LO HE
NECESITADO**

A MI ESPOSA:

MA. DEL CARMEN ROJAS DE LOPEZ

A QUIEN LE DEBO TODO LO QUE SOY

A MI HIJO:

RODOLFO LOPEZ ROJAS

ESTE TRABAJO FUE REALIZADO POR AMBOS

A LA U. N. A. M.

POR PERMITIRME FORMAR PARTE DE ESTA INSTITUCION

ASI COMO POR BRINDARME LA OPORTUNIDAD DE

CONTRIBUIR AL DESARROLLO DE MI PAIS

**A TODOS MIS PROFESORES
POR SU ESFUERO Y DEDICACION
EN ESPECIAL A AQUELLOS QUE DE MANERA DESINTERESADA
CONTRIBUYERON CON SU INVALUABLE APOYO PARA QUE
ESTE TRABAJO PUDIERA CONCRETARSE:**

**ING. JUAN GONZALEZ VEGA
ING. ESTEBAN CORONA ESCAMILLA
ING. UBALDO RAMIREZ URIZAR
ING. AQUILES REYES FLORES
ING. ANTONIO HERRERA MEJIA
ING. ALFONSO CONTRERAS MARQUEZ**

INDICE

I INTRODUCCION	1
Clasificación de las ondas electromagnéticas	3
Historia de la comunicación vía satélite	5
Clasificación de las comunicaciones espaciales	5
Historia del desarrollo de las comunicaciones vía satélite	5
II FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACION	7
Introducción	7
Sistemas de comunicación	7
El ruido en los sistemas de comunicación	9
III TRANSMISION ANALOGICA	12
Introducción	12
Modulación en frecuencia	14
Teoría de la detección de FM	19
Transmisión analógica de señal telefónica	22
Señales de banda base de voz	24
Transmisión analógica de televisión	26
Señales de televisión	26
Sistemas de televisión de alta definición (TVAD)	32
Requisitos para un sistema de alta definición	33

Tamaño de la pantalla	34
Respuesta de la frecuencia espacial-temporal del ojo	34
Velocidad de repetición de campo	35
Sistemas de televisión de alta definición	36
Aplicación de la TVAD en EEUU	37
Sistema de TVAD Japonés	42
Sistema de NHK: MUSE	42
Cálculo de la relación señal-ruido en transmisiones vía satélite	42
IV TRANSMISION DIGITAL	45
Introducción	45
Ventajas de la transmisión digital	46
Desventajas de la transmisión digital	54
Muestreo y cuantización	54
Muestreo y retención	54
Modulación por amplitud de pulsos	58
Reconstrucción de la señal	58
Teorema del muestreo	59
Cuantización	62
Cuantización uniforme	63
Cuantización no uniforme	64
Modulación	66

Técnicas de modulación	67
Modulación PSK	70
Modulación FSK	71
Modulación ASK	73
Modulación APK	74
Transmisión digital de señal de televisión	76
Radiodifusión directa por satélite	77
V MULTIPLEXAJE	79
Introducción	79
Multiplexaje por división de frecuencia	79
Multiplexaje por división de tiempo	81
Consideraciones prácticas en sistemas TDM	82
Diafonía debido a atenuación de alta frecuencia	84
Diafonía debido a la atenuación de bajas frecuencias	85
Sincronización	86
Proceso de sincronización	89
Multiplexaje de la señal de voz	91

VI TECNICAS DE ACCESO MULTIPLE	94
Introducción	94
Acceso múltiple por división de frecuencia	95
Acceso múltiple por división de tiempo	95
Acceso múltiple por asignación de demanda	96
Acceso múltiple por división de frecuencia	96
Esquema FDM / FM / FDMA	98
Canal único por portadora	103
Estructura del cuadro TDMA	109
Ráfagas de referencia	109
Ráfaga de tráfico	110
Tiempo de guarda	110
VII TRANSMISION VIA SATELITE	111
¿Porqué satélite?	111
Sistemas de comunicación por satélite	113
Parámetros del rango para comunicación	113
Sistema de satélite aleatorio	117
Sistema de satélite por fase	118
Sistema de satélite geostacionario	119
Configuración de circuitos vía satélite	121

Círculo hipotético de referencia	121
Enlaces radio-eléctricos por satélite	122
VIII CONCLUSIONES	126
BIBLIOGRAFIA	

I. INTRODUCCION

"Este es un gran día para mí y siento que he dado con la solución de un gran problema, y el día llegará cuando los cables telefónicos se instalen dentro de las casas, igual que sucede con el agua ó el gas, y los amigos platicuen unos con otros sin tener que salir de sus casas". Así escribía Alejandro. Graham Bell el 10 de marzo de 1876, el día en que demostró por primera vez de manera exitosa el funcionamiento de el teléfono Bell demostró una extraordinaria predicción en cuanto a la manera en la que la red telefónica se desarrollaría pero incluso él se encontraría sorprendido por el tamaño del sistema de comunicación mundial de hoy en día el cual interconecta cientos de millones de teléfonos y transmite mas de medio millón de millones de llamadas cada año. Otra mirada hacia el futuro la dio Arthur C. Clarke en el documento "Extra-terrestrial relays" ¿Pueden dar cobertura mundial estaciones a base de cohetes espaciales? publicado en *Wireless World* en 1945. Clarke no solo propuso el uso de satélites para la cobertura de televisión sino que además escribió:

"Se observará que, una órbita con un radio de 42,000 km., tiene un período de exactamente 24 horas. Un cuerpo en esa órbita, y si su plano coincide con el del ecuador de la tierra, dará vuelta con la tierra y aparentará estar estacionario sobre el mismo punto en el planeta. Para un servicio mundial, se requerirán tres estaciones pero se podrán utilizar mas. De este modo 12 años antes de el lanzamiento de el primer satélite artificial de cualquier clase Clarke predijo la llegada de los satélites de comunicaciones así como el uso de la órbita Síncrona Ecuatorial ó Geoestacionaria como puede verse en la figura 1).

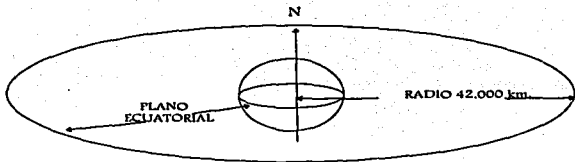


Figura. 1. La órbita geoestacionaria.

Fue veinte años antes que INTELSAT (International Telecommunications Satellite Organization) usara un satélite geoestacionario para el primer servicio de comunicación comercial vía Satélite en 1965 y cuatro años antes aún para que estableciera un servicio mundial usando tres Satélites geoestacionarios lo cual había previsto Clarke.

Hoy en día las telecomunicaciones vía satélite juegan un papel sumamente importante, encontrándose en comunicaciones terrestres, marítimas, móviles y manejando señales como: televisión, voz, datos y videoconferencias; encontrándose la órbita geoestacionaria prácticamente saturada de satélites, esto es debido a que existe un gran número de ellos y constantemente se están colocando en órbita otros más. Por lo anterior, el número de satélites crece constantemente, por lo que resulta difícil determinar el número de ellos en un momento determinado.

CLASIFICACION DE LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS

En las ondas electromagnéticas están incluidas desde las ondas de larga longitud de onda como las de radiocomunicación hasta las de longitud de onda mas pequeña como son los rayos infrarrojos, rayos X, rayos Gamma y los rayos cósmicos. en la tabla 1.1 se muestra esta clasificación. Dentro de este espectro se encuentra incluidas las microondas las cuales están constituidas en diferentes bandas tal como se muestra en la tabla 1.2 que son las frecuencias utilizadas para la transmisión vía satélite.

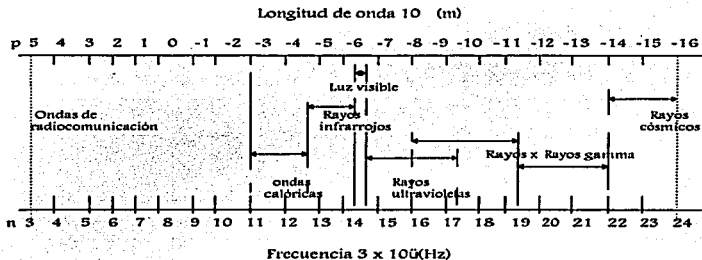


Tabla 1.1 Clasificación de las ondas electromagnéticas

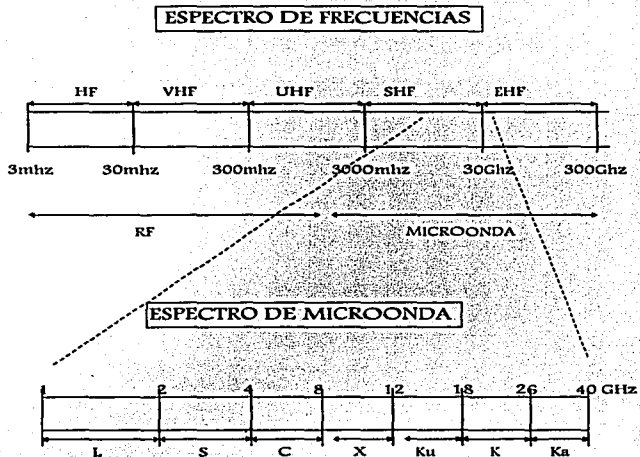


Tabla 1.2 Clasificación de las ondas electromagnéticas en el rango de frecuencias correspondiente a las microondas.

HISTORIA DE LA COMUNICACION VIA SATELITE

En la sección anterior se ha analizado el desarrollo de las comunicaciones vía satélite de una manera breve el cuál se verá aquí con mayor detalle.

CLASIFICACIÓN DE LAS COMUNICACIONES ESPACIALES

Se les llama comunicaciones espaciales a las radiocomunicaciones que se efectúan por medio de una o mas estaciones espaciales (vehículo espacial) el nombre formal de aquellas es comunicaciones radioespaciales y se clasifican en tres grupos:

- (1) Entre estación terrena y estación espacial.
- (2) Entre estaciones espaciales.
- (3) Entre estaciones terrenas por retransmisión o reflexión de estación espacial.

A este último tipo se le conoce como comunicación vía satélite.

HISTORIA DEL DESARROLLO DE LAS COMUNICACIONES VIA SATELITE

Los antecedentes de las comunicaciones vía satélite se remontan a principios de siglo cuando en los laboratorios Bell se realizó por primera vez la medición del ruido cósmico, llamado así a la onda radioeléctrica que llega constantemente de los cuerpos celestes a la tierra.

Posteriormente, en 1936 fue medido un gran ruido proveniente también del espacio por los Doctores. M. Nakagami y. K. Miya. Mas adelante después de la segunda guerra mundial se descubrió el eco de la luna al aplicar la técnica del radar que se había desarrollado

durante la guerra. Gracias a continuas observaciones se conocieron las propiedades de las ondas radioeléctricas en la superficie de la luna, y en 1957 se experimentó la recepción de una onda de telefonía reflejada en la superficie de la luna.

Además se hicieron experimentos de comunicación internacional por medio de la retransmisión realizada en la luna entre Inglaterra y los EE.UU. en mayo de 1959, y en junio de ese mismo año se realizó entre los EE.UU. y Canadá. Aunque esos experimentos tuvieron valor como investigación científica, no tuvieron aplicación en la comunicación debido a la poca intensidad de la señal recibida, la distorsión de trayectoria múltiple, la demora en la transmisión, y la limitación del tiempo de visibilidad común de la luna. Después, en 1945 se comenzaron a lanzar satélites artificiales aunque en esta primera etapa se utilizaban únicamente para realizar experimentos.

En 1963 fue lanzado el satélite síncrono de la NASA: SYNCOM 2 lo cual aceleró la posibilidad de la realización de la comunicación mundial vía satélite, en 1964 se lanzó el satélite geostacionario SYNCOM 3 el cual fue utilizado en la transmisión de televisión en las olimpiadas de Tokio, lográndose mejores resultados en la comunicación realizada.

Hasta este punto las comunicaciones que se realizaron fueron de modo experimental, ya que en agosto de 1964, quedó establecido el consorcio INTELSAT, (International Telecommunication Satellite Consortium) para llevar a cabo la comunicación comercial vía satélite en el mundo.

En adelante se entró a la época práctica de la comunicación vía satélite teniendo esta una importancia tan grande en la actualidad que el mundo prácticamente sería otro sin ella.

II. FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACION

INTRODUCCION

Inicialmente, los sistemas de comunicación fueron principalmente analógicos, la señal de información era montada en una portadora. Quizás las comunicaciones mas conocidas y mas ampliamente usadas de éste tipo sean las transmisiones de radio de A.M. y F.M.

De hecho esta tendencia prevalecía hasta hace apenas algunos años; sin embargo las comunicaciones de tipo digital han cobrado una gran importancia por razones como son la creciente demanda de comunicaciones de datos y el hecho de que la transmisión digital ofrece una flexibilidad para el procesamiento de datos muy superior a la transmisión analógica.

SISTEMAS DE COMUNICACION

Todo sistema de comunicación consta de los componentes que se muestran en la figura 2.1

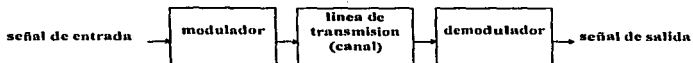


Figura 2.1 Diagrama a bloques de un sistema de comunicación

El objetivo de cualquier sistema de comunicación es la de cumplir la siguiente ecuación:

$$(\text{señal de salida}) = (\text{señal de entrada})$$

donde en la práctica la igualdad se reemplaza por ~

Aquí el modulador convierte la señal de entrada, en una forma que sea aceptada por el canal, (ó medio) de transmisión. En el caso de el sistema de comunicación de A.M., el medio de transmisión consiste en una banda de frecuencias determinada a través de el espacio. Para este caso, el modulador convierte las señales de entrada, que se encuentran en baja frecuencia, en una señal de salida de radiofrecuencia a una frecuencia que se encuentra en la banda de frecuencias deseada.

La línea de transmisión o canal, es el medio por el cual, va a viajar la señal convertida por el modulador hasta llegar a el demodulador, generalmente se trata del espacio (entiéndase medio), que recorre aquella desde el punto donde se genera , hasta el punto de destino.

Como se mencionó anteriormente, la señal a transmitir es convertida por el modulador en una forma aceptada por el medio

Esto significa que, al llegar a su destino, esta señal debe ser restaurada a su forma original para poder ser utilizada. Esta función la realiza el demodulador, es decir, la función del demodulador es exactamente opuesta a la del modulador.

EL RUIDO EN LOS SISTEMAS DE COMUNICACION

En la figura 2.1, la señal de salida debería ser igual a la señal de la entrada y de hecho es lo que se desea, solo que esta condición se cumpliría si todos los componentes del sistema fueran ideales. En la realidad, en cada etapa del sistema se añaden a la señal original, ruido y distorsión.

Se puede definir el ruido como toda aquella señal en la salida que no está presente a la entrada, mientras que la distorsión podemos definirla como toda modificación de la señal original. Existen muchas fuentes de ruido, algunas inclusive imposibles de evitar como el ruido proveniente del cielo, e incluso del espacio en el caso de la recepción de señales por medio de una antena, ó el ruido térmico generado por los propios elementos del sistema como las resistencias; todas generan ruido térmico, los elementos activos generan ruido debido al movimiento aleatorio de los portadores de corriente (huecos y electrones). Estas dos clases de ruido están siempre presentes en los circuitos eléctricos, aunque puedan reducirse disminuyendo la temperatura o modificando el diseño del circuito, sin embargo nunca podrán eliminarse y por lo tanto deberán ser tomados en cuenta. la presencia de ruido en un sistema tiene, entre otros, los siguientes efectos:

- 1.- Degrada la calidad de las señales en el sistema.
- 2.- Limita la habilidad del receptor para identificar correctamente los símbolos de información.
- 3.- Limita la velocidad de transferencia de información

Existen algunas clases de ruido que son generados intencionalmente, en una técnica particular de procesamiento de señal y de hecho son parte de la técnica, a este tipo de ruido se le llama intencional.

El ruido aparece como un agregado a la señal que la distorsiona. pero una señal puede ser distorsionada por otros factores que no son ruido aditivo, tal como un ancho de banda limitado del canal lo que causa una atenuación de ciertas frecuencias de la señal, distorsionándola.

Volviendo a nuestro sistema de comunicación teórico. podemos darnos cuenta que, para hacerlo mas real lo debemos agregar fuentes de ruido. Esto se muestra en la figura 2.2

Como siempre existe una componente de ruido junto con la señal, lo que nos interesa no es la cantidad absoluta de ruido, sino la relación entre la señal y el ruido, ó SNR (Signal to Noise Ratio). la SNR puede definirse como la relación entre la amplitud de la señal y la amplitud del ruido, o como la relación entre la potencia de la señal y la potencia del ruido. La SNR es expresada generalmente en decibelios (dB). La SNR está dada por:

$$\begin{aligned} \text{SNR(dB)} &= 10 \log (p_s/p_n)^2 &= 10 \log (v_s/RL)/(v_n/RL) = \\ &= 10 \log (v_s/v_n)^2 &= 20 \log (v_s/v_n) \end{aligned}$$

donde:

p_s y p_n = potencia de la señal y potencia de ruido respectivamente.

RL = carga sobre la que se desarrolla la potencia

v_s y v_n -- tensiones de señal y ruido.

De las relaciones anteriores podemos darnos cuenta que, idealmente la SNR debería ser infinita, esto en el caso de que no existiera ruido. En la práctica, las SNR aceptables varían de 10 dB a 50 dB. A menos de 10 dB no puede distinguirse fácilmente la señal del ruido.

Cuando se amplifica una señal que contiene ruido, son amplificadas tanto la señal como el ruido, por lo tanto la amplificación en sí misma no mejora la SNR, al contrario, puede empeorarla ya que el propio amplificador agrega ruido.

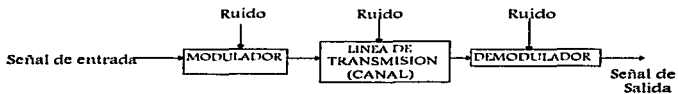


Figura. 2.2 Diagrama a bloques de un sistema de comunicación real

III. TRANSMISION ANALOGICA

Introducción

Los satélites de comunicaciones manejan señales telefónicas, de televisión así como de datos. Obviamente los datos son transmitidos siempre digitalmente, pero las señales telefónicas pueden ser tanto de tipo digital, como analógico y esto es debido a su propia naturaleza. En relación con las señales de televisión las transmisiones estándar se hacen de manera analógica, esto es debido a que la transmisión digital de televisión requiere de grandes anchos de banda. Otra razón para utilizar todavía señales de tipo analógico es el hecho de haberse extendido este tipo de transmisión a todos los satélites de comunicaciones en su primera etapa, esto debido en primer lugar a que era posible obtener un desempeño aceptable utilizando la potencia tan limitada que se tenía disponible en los satélites de los años 1960s. y en segundo lugar por el hecho de que gran parte de la tecnología necesaria para ello ya se había desarrollado para aplicaciones de sistemas de radio terrestres.

De no ser por lo anterior la situación de la transmisión analógica sería diferente puesto que la comunicación digital presenta algunas características superiores a la analógica.

Ahora bien, una transmisión a través de satélite consta de muchas señales, las cuales deben ser separadas para evitar interferencias entre sí a este proceso se le conoce como multiplexaje, y los métodos más comunes son, multiplexaje por división de frecuencia (FDM), y multiplexaje por división de tiempo (TDM). A grandes rasgos podemos decir que, en el primer caso las señales pasan a través del transponder a diferentes frecuencias, y en el segundo caso lo hacen en tiempos diferentes. Teóricamente es posible utilizar cualquier técnica de multiplexaje ya sea con modulación analógica o digital, pero el multiplexaje por división de tiempo (TDM) es más fácil de usar con modulación digital y el

multiplexaje por división de frecuencia es mas conveniente usarlo con modulación analógica.

Ahora, como sabemos, el medio de transmisión en la comunicación vía satélite es el aire y para que la transmisión sea eficaz se requiere que las señales que contienen la información sean procesadas de algún modo antes de transmitirse por ese medio.

Las señales generadas inicialmente (conocidas como señales de banda base), comúnmente tienen que ser desplazadas a frecuencias superiores para que la transmisión sea mas eficiente, ya que así se logra una mejor radiación de la energía esto es posible mediante la variación de la amplitud, frecuencia o fase (o una combinación adecuada de ellas) de una onda senoidal portadora de una alta frecuencia, de acuerdo con lo que se va a transmitir. En este capítulo se tratará la segunda de ellas,(modulación en frecuencia) ya que es la única forma de modulación analógica usada ampliamente en comunicación vía satélite.

La modulación en frecuencia tiene la característica de contar con una muy buena relación señal-ruido esto significa que la proporción de el valor de la relación señal-ruido a la salida de un detector de FM es mayor que la proporción de la relación señal-ruido (de la portadora) a la entrada del detector, con lo que se logra que la relación señal-ruido de la portadora a la entrada esté por arriba del valor del umbral característico de este detector.

Como las comunicaciones vía satélite siempre han estado caracterizados por su potencia limitada mas que por el tamaño de ancho de banda, tienen que operar con niveles bajos de valor de la relación señal-ruido de la portadora y es por lo que se ha utilizado la FM en la transmisión analógica

MODULACION EN FRECUENCIA

Se ha hablado anteriormente de las ventajas que ofrece la modulación en frecuencia, pero ¿qué significa?, podríamos comenzar en forma intuitiva diciendo que se considerará un sistema de modulación en frecuencia aquél en el cual la frecuencia de la portadora se haga variar de acuerdo con alguna señal específica que lleve información. Entonces la frecuencia de la portadora debe escribirse $\omega_c + k_f f(t)$, donde $f(t)$ representa la señal y k es una constante del sistema. Se llega a mayores dificultades, sin embargo, cuando se trata de expresar matemáticamente la forma mas general de la portadora modulada en frecuencia. Puede hablarse de la frecuencia de una onda senoidal solamente cuando la frecuencia es constante y la señal senoidal permanece todo el tiempo. En este caso se esta tratando de analizar una onda variable.

Aquí la dificultad radica en que, estrictamente hablando, solo se puede hablar del ángulo del seno (o del coseno). Si este ángulo varía linealmente con el tiempo, y la frecuencia puede interpretarse específicamente como la derivada de dicho ángulo. Por lo tanto, si

$$f_c(t) = \cos \theta(t) = \cos(\omega_c t + \theta_0) \quad (3.1)$$

es la expresión usual para una onda senoidal de frecuencia ω_c , se está suponiendo implícitamente que $\theta(t)$ es lineal en el tiempo, siendo ω_c su derivada.

Cuando $\theta(t)$ no varía linealmente en el tiempo, ya no puede escribirse la ecuación (3.1) en la forma normal que se muestra, es decir, conteniendo un término específico de frecuencia. Para evitar esta dificultad, se definirá una frecuencia instantánea en radianes ω_i como la derivada del ángulo en función del tiempo. Así, con

$$f_c(t) = \cos \theta(t) \quad (3.2)$$

se tiene

$$\omega t = \frac{e\theta}{dt} \quad (3.3)$$

(Esto por supuesto está de acuerdo, con el uso normal de la palabra frecuencia si $\theta(t) = \omega ct + \theta_0 + k_1 f(t)$).

Si $\theta(t)$ de la ecuación(3.2) se hace variar ahora de alguna manera con una señal moduladora $f(t)$, la forma resultante de modulación se conoce como modulación angular. en particular si:

$$\theta(t) = \omega ct + \theta_0 + k_1 f(t) \quad (3.4)$$

donde k_1 es una constante del sistema, se dice que se está tratando con un sistema de modulación en fase. Aquí es la fase de la portadora la que varía linealmente con la señal moduladora

Sea ahora la frecuencia instantánea, como se definió en la ecuación (3.3) la que varíe linealmente con la señal moduladora,

$$\omega t = \omega c + k_2 f(t) \quad (3.5)$$

Entonces
$$\theta(t) = \int \omega t dt = \omega ct + \theta_0 + k_2 \int f(t) dt \quad (3.6)$$

Esto claro está nos lleva a los sistemas de FM. La modulación en fase y la modulación en frecuencia se consideran como casos especiales de la modulación angular. En el caso de la modulación en fase, la fase de la señal varía con la señal moduladora; y en el caso de la modulación en frecuencia, la fase de la señal varía con la integral de la señal moduladora. Si se integra primero la señal moduladora $f(t)$ y a continuación se modula con el resultado en fase a una portadora, entonces este procedimiento da lugar a una portadora modulada en frecuencia. Este es el método usado para producir una portadora modulada en frecuencia en el sistema indirecto de Armstrong de generación de FM.

En la figura 3.1 se muestra una portadora modulada en frecuencia. Se supone que la señal moduladora es un diente de sierra repetitivo de período $T(2\pi/T \ll \omega_c)$.

A medida que la amplitud de la señal moduladora de diente de sierra aumenta, la FM oscila más rápidamente; sin embargo, su amplitud se mantiene constante.

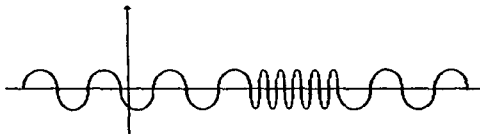


Figura 3.1 Modulación en frecuencia, portadora de FM

La modulación en frecuencia es un proceso no lineal, y por lo tanto, debería esperarse que aparecieran nuevas frecuencias generadas por este proceso. Tal como se ha indicado en las ecuaciones 3.5 y 3.6, la señal de FM oscila más rápidamente con el aumento de la

amplitud de la señal moduladora. Debería esperarse por lo tanto, que el espectro de frecuencia de la onda de FM o su ancho de banda se amplíe en correspondencia.

El análisis del proceso de FM es, en esencia, mucho más complicado que el de AM, y particularmente cuando se trata de una señal moduladora general. Esto es debido a la característica no lineal del proceso de FM. No es posible aplicar la superposición, así que el análisis de un tipo particular de señal moduladora no puede aplicarse fácilmente a otra. Otra forma de abordar el caso de la FM desde el punto de vista de la frecuencia instantánea sería la siguiente: podemos decir que la modulación en frecuencia aparece en el momento en el que la desviación Δf de la frecuencia instantánea f es directamente proporcional a la amplitud instantánea del voltaje modulador. Un modulador de FM se caracteriza por presentar la máxima desviación de la frecuencia $\Delta \omega_c$, en el momento en el que el voltaje modulador alcanza su máximo valor. Para el caso en el que la modulación es producida por medio de una senoide a la frecuencia en radianes ω_{mod} y cuya amplitud en su valor pico produce la máxima desviación, la expresión para un voltaje $v(t)$ de FM y cuya portadora tenga una frecuencia ω_c , es la siguiente:

$$v(t) = A \cos \left[\omega_c t + \left(\frac{\Delta \omega}{\omega_{mod}} \right) \sin(\omega_{mod} t) \right] \quad (3.7)$$

A la relación $\Delta \omega / \omega_{mod}$ se le llama el índice m de modulación de FM. Esta onda de FM puede ser representada en términos de m de la siguiente manera:

$$v(t) = A \cos(\omega_c t + m \sin \omega_{mod} t) \quad (3.8)$$

Debido a que la señal de la ecuación (3.8) toma la forma del coseno de un seno el espectro de esta no es obvio. Pero puede representarse por medio de una serie infinita de componentes discretos de la siguiente manera:

$$v(t) = A \left\{ J_0(m) \cos \omega_c t + \sum_{n=1}^{\infty} J_n(m) \left[\cos(\omega_c + n\omega_{mod})t + (-1)^n \cos(\omega_c - n\omega_{mod})t \right] \right\} \quad (3.9)$$

Donde J_0, J_1, \dots, J_n se llaman funciones Bessel de primer tipo y orden 0, 1, \dots, n . Teóricamente el espectro de una frecuencia modulada senoidalmente en FM tiene un número infinito de frecuencias laterales y por lo tanto requiere un ancho de banda infinito, en la práctica la señal debe de ser filtrada para reducir su ancho de banda para su transmisión.

El valor aproximado del ancho de banda requerido B para un sistema determinado está dado por la siguiente ecuación conocida como la regla de Carson:

$$B = 2f_{mod}(m + 1) = 2(\Delta f + f_{mod}) \quad (3.10)$$

Donde B, Δf (máxima desviación de la frecuencia del modulador), y f_{mod} (frecuencia de modulación) están dadas en Hz. Esta regla es usada normalmente en los diseños en las comunicaciones vía satélite en el cálculo de el ancho de banda. La energía asociada con las partes laterales fuera de el ancho de banda B es pequeña y se produce muy poca distorsión de la señal moduladora cuando la señal de FM pasa a través de un filtro con ancho de banda B. Una señal de FM que es transmitida intencionalmente a través de un transponder o hacia un receptor cuyo ancho de banda es considerablemente menor que el de la regla de Carson se dice que está sobreinvertida.

El espectro de una onda de FM modulada por una señal real es mucho mas complicada que la de una senoide de una sola frecuencia. Pero en este caso el ancho de banda necesario puede ser calculado aún por la regla de Carson si se reemplaza f_{mod} por f_{max} y de esta forma la frecuencia moduladora máxima es:

$$B = 2(\Delta f + f_{\max})$$

$$(3.11)$$

En este capítulo trataremos la transmisión analógica de señales telefónicas.

TEORÍA DE LA DETECCIÓN DE FM

Un detector de FM produce un voltaje cuyo valor es proporcional a la diferencia entre la frecuencia instantánea de la señal de entrada y una frecuencia de referencia llamada algunas veces frecuencia de reposo. La frecuencia de referencia corresponde a la frecuencia de la portadora de la sección anterior. Bajo condiciones normales, la salida del detector es una réplica de la señal moduladora que fue aplicada a la portadora antes de la transmisión.

Como se mencionó anteriormente, el ancho de banda de una onda modulada en frecuencia es mucho mayor que el ancho de banda de la onda moduladora. De aquí que el ancho de banda de la señal de entrada a un detector de FM es mucho mayor que el ancho de banda de la señal de salida. La compresión realizada por el detector es acompañada por una mejora en la relación señal-ruido (S/N), logrando que la relación portadora de entrada-ruido sea suficientemente grande. En otras palabras, la detección posterior de la relación señal-ruido (S/N) puede ser considerablemente mayor (quizás por 20dB) arriba que la relación portadora de entrada-ruido (C/N), por sus siglas en Inglés.

Este proceso es muy importante tanto para el diseño como para la operación de enlaces vía satélite de la comunicación analógica de FM por lo que se describirá a continuación.

Considerando que una señal de FM de entrada tiene una amplitud rms A , que ocupa un ancho de banda de $1F B_{1f}$, y que es modulada senoidalmente para tener una desviación de la frecuencia rms Δf_{rms} . Sea η W/Hz la densidad espectral de la potencia rms de un lado de banda del ruido en el ancho de banda de $1F$ así que la potencia del ruido a la entrada del

detector es ηBIF . Para una amplitud A del voltaje de la portadora, el promedio de la potencia de la portadora en la entrada del detector es $A^2/2$ y la relación portadora de entrada-ruido $(C/N)_i$ es:

$$(C/N)_i = \frac{A^2}{2\eta BIF} \quad (3.12)$$

Sea K la característica de transferencia de el demodulador. Esto significa que la desviación de frecuencia Δf en la portadora de entrada produce $K \Delta f$ volts a la salida del demodulador. La potencia rms disponible de la señal a la salida de el demodulador es entonces proporcional a $(K \Delta f_{rms})^2$. Si la respuesta de la frecuencia de salida de el demodulador se extiende de f_1 a f_2 Hz, entonces la potencia de el ruido de salida N está dada por la siguiente relación:

$$N = 2\eta (K/A)^2 \int_{f_1}^{f_2} f^2 df = 2\eta \left(\frac{K}{A}\right)^2 \frac{(f_2^3 - f_1^3)}{3} \quad (3.13)$$

Si combinamos las ecuaciones (3.12) y (3.13) encontramos que la relación señal-ruido $(S/N)_o$ es:

$$(S/N)_o = \frac{K^2 (\Delta f_{rms})^2}{2\eta (K/A)^2 \frac{(f_2^3 - f_1^3)}{3}} = (C/N)_i \left[\frac{3 BIF (\Delta f_{rms})^2}{(f_2^3 - f_1^3)} \right] \quad (3.14)$$

Sabiendo que, para una modulación senoidal la desviación rms Δf_{rms} está relacionada con la desviación pico Δf_{pico} por un factor de $2/\sqrt{3}$, podemos escribir la ecuación (3.14) de la siguiente manera:

$$(S/N)_o = (C/N)_i (3/2) \frac{BIF (\Delta f_{pico})^2}{(f_2^3 - f_1^3)} \quad (3.15)$$

Conviene recordar que la ecuación (3.15) es válida solamente para una señal de FM modulada senoidalmente por una sola frecuencia, en una transmisión cuyo valor de la relación (C/N) rebasa un umbral típico de 10 dB.

Para una señal moduladora no multiplexada y no senoidal como la que es usada en transmisiones de Televisión puede utilizarse la ecuación (3.15) para estimar el mejoramiento de la FM. Para esto se asume que el espectro de la señal moduladora se extiende de 0 a f_{max} Hz. Estos límites definen el rango de la frecuencia de salida de el detector, de esta forma encontramos que: $f_2 = f_{max}$ y $f_1 = 0$ por lo que tenemos:

$$(S/N)_0 = (C/N)_i \frac{3}{2} \frac{BIF}{f_{max}} \left(\frac{\Delta f_{pico}}{f_{max}} \right)^2 \quad (3.16)$$

Si escribimos el índice de modulación m como:

$$m = \frac{\Delta f_{pico}}{f_{max}} \quad (3.17)$$

y utilizando la regla de Carson

$$BIF = 2f_{max}(1+m) \quad (3.18)$$

podemos expresar la ecuación (3.15) de la siguiente manera:

$$(S/N)_0 = (C/N)_i \times 3 (1+m)m^2 \quad (3.19)$$

Tenemos que, para valores grandes de m , el término $3(1+m)m^2 \approx 3m^2$, mientras que para $m \ll 1$ el término $3(1+m)m^2 \approx 3m^2$

TRANSMISION ANALOGICA DE SEÑAL TELEFONICA

Como se mencionó anteriormente A pesar de que la modulación digital presenta algunas ventajas sobre la modulación analógica, existe una gran cantidad de transmisión de señales telefónicas en FM que utilizan FDM.

En la figura 3.1 se muestra un sistema típico de este tipo, en el, un multiplexor toma las señales de banda base de muchas conversaciones individuales telefónicas, las traslada a canales adyacentes en la señal de RF, y las combina. En esencia, lo que hace el multiplexor es juntar o "apilar" los canales individuales en bandas sin traslaparse

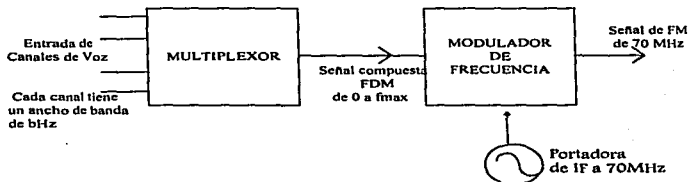


Figura 3.1 Transmisión en una estación terrena de un sistema FDM en donde se muestra la trayectoria de subida de la señal al satélite.

El resultado es una señal compuesta FDM, la cual modula en frecuencia a una portadora de frecuencia intermedia, (generalmente a 70 Mhz) para crear una señal multiplexada de FM. La portadora de frecuencia intermedia es convertida a la frecuencia apropiada de subida al satélite, amplificada y transmitida a él. En el satélite la señal es amplificada convertida a una frecuencia correspondiente a la banda utilizada para señal de bajada y retransmitida.

En la estación terrena receptora la señal de bajada es amplificada y convertida a frecuencia intermedia, o IF la señal modulada en IF entra en un demodulador de FM el cuál recupera las señales multiplexadas con los canales de voz "apilados" en frecuencia posteriormente, un demultiplexor recupera cada canal en banda base como se muestra en la figura 3.2

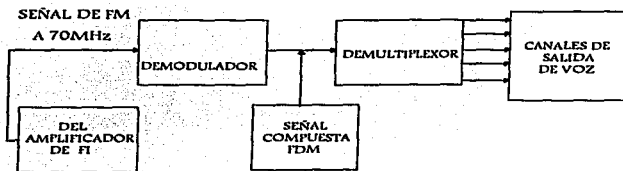
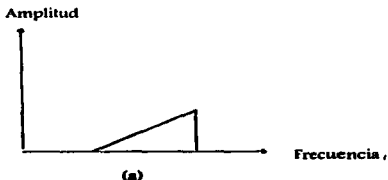


Figura 3.2 Recepción en un sistema FDM en una estación terrena en donde se muestra la trayectoria de bajada de la señal desde el satélite.

SEÑALES DE BANDA BASE DE VOZ

Se le llama señal de banda base de voz a el voltaje generado por un teléfono individual, y aunque sus características específicas dependen de la bocina que utilice, el sistema Bell considera que esta señal tiene un espectro plano que va de los 300 a los 3100 Hz , el CCITT (International Telegraph and Telephone Consultative Committce), recomienda que vaya de los 300 a los 3400 Hz, aunque algunos diseños prácticos consideran un espectro de 0 a 3000 Hz. Aquí nos referiremos al espectro de la CCITT de 300 a 3400Hz, el espectro de una señal de banda base de voz es a menudo representado por un triángulo como se muestra en la figura 3.3. en el caso de un espectro normal el vértice del triángulo se encuentra en el lado derecho, y en un espectro invertido,(aquél en el que el orden de las frecuencias se ha tomado de modo inverso) el vértice se encuentra del lado izquierdo. Ahora bien, el espectro no es realmente triangular sino que es un símbolo que se usa por conveniencia.



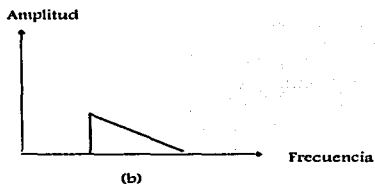


Figura 3.3. Representación del espectro de voz en banda base en un sistema telefónico
 (a) Espectro normal. (b) Espectro invertido.

La amplitud de una señal de voz en un circuito de comunicación depende de donde y como se mida, pero en la práctica de ingeniería en el área telefónica, la potencia de la señal se expresa en términos de nivel de transmisión, esto es, su nivel en decibeles con respecto a un punto de referencia, de este modo en el punto de referencia la potencia de la señal en decibeles será obviamente 0dBm aquí m significa que se está haciendo la medición con respecto a un punto de referencia y el 0 significa que existe un nivel nulo de transmisión con respecto a el punto de referencia. De esta manera, una señal una señal de -2dBm sería aquella que produce una potencia de -2dBm en el punto de referencia. un medidor colocado en el punto de transmisión en el nivel de -5dB arrojaría una lectura de la potencia absoluta de -2dBm0 como -7dBm.

TRANSMISION ANALOGICA DE TELEVISIÓN

Aunque las señales telefónicas representan el grueso de las comunicaciones vía satélite, las señales de televisión tienen un mayor efecto en lo que a tecnología se refiere, las transmisiones de este tipo se encuentran ampliamente difundidas. De hecho la televisión ha sido una de las partes más activas en la industria de las comunicaciones vía satélite.

SEÑALES DE TELEVISION

Existen varios estándares de transmisión de televisión alrededor del mundo, sin embargo dos de ellos se caracterizan por ser los más comúnmente usados estos son: el sistema NTSC (National Television System Committee) 525 líneas/60Hz utilizado principalmente en América del norte y Japón.

Sistema PAL (Phase Alternation Line) 625 líneas/50Hz utilizado en Europa.

Se les llama también sistemas CCIR M y B respectivamente.

Otro de los estándares que aunque menos utilizado cuenta con cierta difusión en Europa es: Sistema SECAM (Sequential Color With Memory) 50Hz

En el caso de una transmisión monocromática de televisión, la señal de vídeo es portadora de una representación analógica del brillo, es decir la cantidad de luz en la pantalla por medio de una serie de líneas que realizan un barrido horizontal a lo cual se le llama señal de luminancia. Junto con la señal de luminancia, se transmiten los pulsos de sincronización de tal forma que el receptor de televisión puede reproducir el proceso de barrido de la cámara.

La televisión monocromática fue desarrollada antes que la de color, y al desarrollarse la televisión a color esta información pudo ser añadida a una transmisión monocromática sin degradar la calidad de recepción de los aparatos de ese tipo. Ahora bien cualquier color puede ser creado mediante la combinación adecuada de luz de los colores rojo, verde y azul. La televisión a color puede transmitirse enviando los componentes de los colores de cada cuadro de manera separada, pero de esta manera se requeriría un ancho de banda demasiado grande, en vez de eso, se transmiten tres combinaciones lineales de los tres componentes y los valores de estos son recuperados en el receptor.

Una cámara de televisión genera diferentes niveles de voltaje los cuales corresponden a la luz de color rojo, verde o azul en cada punto de la pantalla. Estos niveles de voltaje se identifican con las letras R, G y B. En el caso de un receptor monocromático, este va a responder al nivel de luz en cada punto de la pantalla; a esto se le llama *luminancia*, (Y) y está relacionada con los niveles de voltaje de los colores de la siguiente manera:

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B \quad (3.20)$$

De esta forma al transmitirse la señal de luminancia, un receptor monocromático recibe una imagen de color en blanco y negro.

Ahora para la reconstrucción del color deben de transmitirse otras dos combinaciones lineales e independientes de R, G y B. Junto con Y con lo cuál se recuperan todos los componentes del color. A estas combinaciones se les llama señales I y Q y están dadas por las siguientes relaciones:

$$I = 0.60R - 0.29G - 0.32B \quad (3.21)$$

$$Q = 0.21R - 0.52G + 0.31B \quad (3.22)$$

Estas combinaciones toman estos nombres (I, Q) por el inglés in phase y quadrature. Estas dos señales juntas al ser decodificadas junto con la señal de luminancia, llevan la información de croma la cuál se refiere a el color en cada punto de la pantalla

Las señales I y Q se encargan de modular una subportadora de color (llamada también croma) de tal forma que la amplitud resultante de ésta señal determina la saturación (o el grado de pureza) del color en un determinado punto.

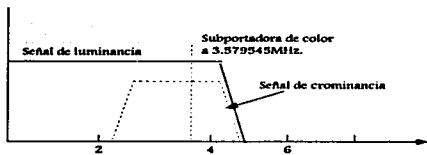
La fase de esta señal por su parte determina el tinte (el grado de oscuridad) en el color. Así que, a partir de la amplitud y fase de una señal de croma, un receptor de Televisión determinará el tinte del color así como la cantidad de luz blanca que debe añadir. A partir de la señal de luminancia determinará que tan brillante debe ser el color.

En el caso de transmisiones terrestres la señal de luminancia (Y) es filtrada de modo que esta ocupa la banda de 0 a .42 Mhz, y modula una portadora de "cuadro" esto mediante un modulador de rastro de banda lateral llamado modulador (VSB) por sus siglas en inglés. La parte alta de la banda se trasmite completamente, mientras que la parte baja de la banda es removida en parte. De esta forma la señal resultante VSB es suficiente para transmitir la parte de vídeo de la televisión monocromática o en blanco y negro.

La información de croma se transmite mediante una subportadora de color a 3.579545 Mhz. Se escogió este valor debido a que esta señal queda situada en una parte del espectro de luminancia que se encuentra relativamente vacía con lo cuál se consigue minimizar las interferencias de color para el caso de la recepción de blanco y negro.

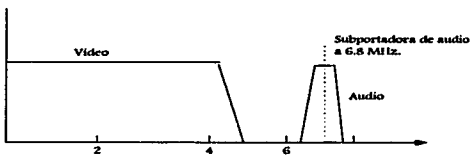
Las señales I y Q modulan la subportadora de color a través de mezcladores de doble balance esto es para generar señales portadoras con lado de banda suprimida (DSBSC), por sus siglas en inglés. La subportadora es defasada 90. antes ser montada en la moduladora Q, por lo que, las componentes tanto de I como de Q pueden recuperarse en el receptor. La figura 3.4 muestra el espectro de la señal de banda base de vídeo.

Las señales de banda base de audio van desde 50Hz hasta los 15kHz, estas señales comúnmente modulan una subportadora de audio y la señal de FM que resulta se añade a la señal de banda base de vídeo. Esto da por resultado la señal compuesta de Televisión que se muestra en la figura 3.4b, la cuál consiste en la señal de bandabase de vídeo por debajo de una subportadora de audio de FM . La frecuencia de esta señal en sistemas domésticos en América del norte es de 6.8Mhz, aunque también se utiliza la frecuencia de 6.2Mhz.



Frecuencia de Banda Base, MHz.

(a)



Frecuencia de Banda Base, MHz.

(b)

Figura 3.4 Espectro de las señales de banda base de televisión. (a) señales de banda base de vídeo. (b) señal compuesta de televisión (audio y vídeo).

En transmisiones terrestres las señales de audio y vídeo se combinan y su frecuencia es modificada a una parte apropiada ya sea de la banda de VHF o de UHF para su transmisión. De esta forma la señal radiada es una combinación compleja de FM (sonido), VSB (luminancia), y DSBSC (croma), esta señal ocupa un ancho de banda de 6Mhz. Para la transmisión vía satélite la señal de banda base de vídeo (luminancia y croma), llevan a cabo una modulación en frecuencia de una portadora de vídeo y la señal de audio se encargan de modular a la portadora de audio. Los detalles de la modulación de vídeo dependen del ancho de banda que se encuentre disponible en el transponder.

Los valores típicos para una red de televisión son: Una desviación pico Δf_c de 10.75Mhz y una frecuencia de modulación de vídeo f_v de 4.2Mhz

De acuerdo con la ecuación 3.10 para esto se requiere un ancho de banda del transponder de 29.9Mhz.

Una señal de televisión proveniente de un satélite difiere un poco de la señal convencional de Televisión. Por lo que, los convertidores que permiten la recepción de transmisiones vía satélite de televisión en receptores convencionales caseros, deben para funcionar con ellos, demodular las señales de entrada de FM, recuperar los canales de banda base de audio y vídeo y modular nuevamente el audio y vídeo sobre una portadora que se genera de manera local utilizando el mismo esquema de modulación de la estación transmisora de televisión.

SISTEMAS DE TELEVISION DE ALTA DEFINICION (TVAD)

A pesar de que en el campo de las comunicaciones ha habido un gran progreso en lo que a transmisión televisiva se refiere, la imagen de los receptores actuales de televisión adolece de serios defectos, y aunque en general nos parece buena, lo que en realidad sucede es que a la larga nos hemos acostumbrados a la televisión actual. Sin embargo, en cuanto a los estándares que se han mencionado, en uso actual, NTSC en América del norte, y PAL y SECAM en Europa, presentan fallas en cuanto a presentación de imágenes en mayor o menor medida. Es generalmente admitido que los sistemas PAL y SECAM ofrecen una mejor calidad de imagen que el NTSC aunque aquellas normas aparecieron después que el NTSC.

En los tres sistemas, como ya se mencionó anteriormente, la información de color se envía montada sobre la información de luminancia, teniendo como resultado final luminancia cruzada y crominancia cruzada. Cuando esto sucede se llega a una situación en la que las líneas de blanco y negro generan una molesta imagen de líneas moteadas o en zig-zag, y existe un corrimiento de color de una parte de la imagen a otra. Los sistemas existentes también padecen frecuentemente de "doble imagen", que es una transición repentina del negro al blanco, produciendo un efecto oscilatorio.

La norma NTSC generalmente presenta saturación de color, donde el color rojo predomina sobre los demás colores primarios. Otros fallos comunes a estos sistemas son parpadeo interlineal, parpadeo a gran escala y visibilidad de la estructura de líneas. Otra falla común es la susceptibilidad a una falsa imagen superpuesta conocida como "fantasma", donde se ve una segunda imagen sobre la real. La falsa imagen superpuesta está producida por señales que se reflejan en un objeto de gran tamaño como un edificio o una torre.

Lo anterior da como resultado que la imagen en color en un receptor moderno de 10 pulgadas nos parece muy buena , pero la misma imagen en una pantalla de 30 pulgadas por ejemplo, ya no es tan agradable, puesto que en este caso las deficiencias en la calidad de la imagen se hacen ya evidentes. En este caso, podemos ver líneas horizontales y tonalidades demasiado brillantes, mala definición y luces pequeñas de colores o "motas" producto de luminancia cruzada y crominancia cruzada.

Además de las fallas descritas con anterioridad existen deficiencias de otro tipo; En términos generales las pantallas son demasiado pequeñas, la relación del ancho a la altura de la imagen es inadecuada, y por lo regular el brillo de la imagen en las pantallas muy grandes es insuficiente.

El hecho es que los estándares actuales funcionaron bien en un principio en el momento de introducirse y todavía algunos años después cuando el tamaño de las pantallas era menor que el de las actuales, pero como se mencionó anteriormente en la actualidad las deficiencias son ya evidentes por lo que, desde hace algún tiempo hace falta una mejora a esta situación.

La televisión de alta definición tiene como uno de sus propósitos el eliminar todas estas fallas con el principal objetivo de presentar una imagen con la mejor calidad posible.

REQUISITOS PARA UN SISTEMA DE ALTA DEFINICION

No existe una definición precisa para un sistema de alta definición sin embargo si están bien definidas algunas características .

TAMAÑO DE LA PANTALLA.

La TVAD implica la presentación de una pantalla de televisión con una calidad lo más próxima posible a la pantalla panorámica de cine. Los resultados de estudios realizados a este respecto por NIK (Japanese Broadcasting Corporation) dieron como resultado que la visión óptima se obtiene cuando la distancia de visión es de $3H$ a $4H$, donde H es la altura de la imagen. Expresado en términos prácticos, esto significa que una sala de estar de tamaño típico de Europa occidental (de acuerdo con las pruebas realizadas) necesita una televisión con una pantalla de 30 pulgadas (760 mm) de altura.

El ancho de la pantalla es otro factor importante. Las pruebas han demostrado que la presentación en pantalla panorámica corresponde mejor a lo que ve el ojo humano, y puede también contribuir a una sensación de efecto tridimensional. Actualmente, hay un consenso general en cuanto a lo que constituye la relación ideal del ancho a la altura de la imagen de una pantalla de televisión; la cifra es 16:9, a diferencia de la norma de televisión existente que es 4:3. Otras pruebas han demostrado que la mejor visión tiene lugar a una distancia de $3.3H$, y en el centro de la pantalla. A medida que las pantallas aumentan de tamaño, el ojo humano ve imperfecciones que no son apreciables en pantallas pequeñas. Estas se manifiestan como parpadeos, puntos y líneas.

RESPUESTA DE LA FRECUENCIA ESPACIAL-TEMPORAL DEL OJO

En lo que se refiere a una alta delación de brillo y contraste, el ojo humano puede detectar frecuencias de hasta 60Hz por grado espacialmente 70Hz temporalmente. A una distancia de visión de $3H$, la pantalla de televisión abarca un ángulo de 18.92° en el plano vertical. Así que, calculando que la imagen de televisión va a ser totalmente nítida, deben

reproducirse fielmente frecuencias espaciales de hasta 60×18.92 o una altura de 1135 ciclos/imagen. Por lo tanto si suponemos que, la cámara y la imagen en pantalla actúan como prefiltros y posfiltros ópticos ideales, el sistema de televisión debe tener por lo menos 2270 líneas activas para satisfacer las necesidades.

VELOCIDAD DE REPETICION DE CAMPO

La velocidad de repetición de campo o de imagen se establece mediante dos factores. El primero es la necesidad de mantener bajo el nivel de parpadeo en la imagen en pantalla Ya que la visibilidad de éste aumenta con el tamaño de la pantalla, debido a la visión periférica, por lo que se requiere de una velocidad de campo mayor. Los experimentos realizados por los organismos de televisión a este respecto indican que las velocidades de campo alrededor de los 80Hz son adecuadas. El segundo factor es la resolución que se obtiene de los objetos móviles en pantalla. En determinadas circunstancias, el ojo no puede percibir detalles en los objetos móviles, esto es debido al desenfoque producido por la remanencia. Sin embargo, en ocasiones, cuando el ojo sigue el movimiento del objeto, la imagen queda estacionaria en la retina, por lo que el ojo puede detectar el detalle de el mismo modo que cuando el objeto no estaba en movimiento. En estas condiciones, si la cámara de televisión no sigue al objeto en movimiento, puede percibirse el desenfoque causado por el tiempo de exposición de cada campo.

Las pruebas experimentales han demostrado que para reproducir objetos en movimiento de una forma totalmente nítida, se puede requerir una velocidad de campo de hasta 1000Hz si se quiere eliminar el desenfoque del movimiento, estos casos se hicieron tomando en cuenta los peores casos posibles, pero un sistema con esta característica contaría con una imagen casi perfecta la cual sería prácticamente imposible de diferenciar en relación a como se encontraba antes de pasar por el sistema de transmisión a esto se le llama nitidez de alcance.

Por lo tanto para lograr esa nitidez casi perfecta un sistema de televisión requeriría una norma de 2270 líneas por segundo, y una velocidad de campo no inferior a 80MHz, esto en el caso de ser necesario observar a una distancia de 3H. Un sistema con estas características requeriría de un ancho de banda de 350MHz, resulta evidente que con los actuales sistemas PAL, SECAM, y NTSC es poco viable lograrlo puesto que emplean anchos de banda en los espectros de VHF y UHF inferiores a los 6MHz.

SISTEMAS DE TELEVISION DE ALTA DEFINICION

Las diferentes normas de transmisión de televisión que se establecieron en la década de los 60s fueron el primer intento de alcanzar la alta definición. Al darse la competencia se implantaron ciertas normas en determinadas regiones pero en otros lugares se desarrollaron normas distintas que eran superiores a su antecesor y que fueron adoptados como estándar. El resultado fue una falta de aceptación de un sistema común de televisión en color. Lo cuál tuvo como consecuencia que un receptor de televisión NTSC no podía recibir transmisiones PAL o SECAM y viceversa.

Posteriormente se desarrollaron convertidores de normas de televisión con lo que el problema anterior fue resuelto

Ahora parece como si esta historia se volviera a repetir con diferentes normas de TVAD para sustituir a PAL SECAM y NTSC. Japón ha desarrollado la norma MUSE (Múltiple Sub-Nyquist Sampling Encoding o codificación de muestreo Sub-Nyquist Múltiple), Europa ha elegido la norma D-MAC cuyo planteamiento consiste en pasar gradualmente de los formatos PAL y SECAM a TVAD esto, en un lapso de varios años a través de cuatro fases de forma que, al final prácticamente todos los televidentes habrán hecho el cambio a la TVAD. Este planteamiento está basado en desarrollar un sistema de

transmisión con capacidad de TVAD y traducirlo a las normas PAL y SECAM. Los Estados Unidos por su parte, sigue su camino con una norma de TVAD todavía por seleccionar (según un artículo publicado recientemente relacionado con el tema, se ya se habría llegado a un acuerdo para adoptar una norma, sin embargo no se menciona con quién se habría llegado a un acuerdo).

Lo cierto es que la compañía de radiodifusión japonesa NHK ha creado los medios mediante los cuales el sistema MUSE pueda transmitirse en EEUU como una forma de TVAD, mientras que para Europa ha desarrollado una TVAD para el convertidor de PAL y SECAM.

APLICACION DE LA TVAD EN EEUU

Aunque en modo experimental ya se han llevado a cabo algunas transmisiones de TVAD desde 1989 en aquél país, sin embargo después de esto este país se ha quedado rezagado con respecto a Japón y Europa en cualquier aplicación de este sistema, pero contrariamente a lo que pudiera pensarse, esto dio a EEUU cierta ventaja en cuanto a que, al no haber decidido un método específico para la transmisión de TVAD, podía darse el lujo de considerar todas las opciones posibles o incluso adoptar un sistema totalmente digital que tuviera preferencia a los sistemas analógicos propuestos por Japón y Europa con lo cuál EEUU podría superarlos

Aunque existe una alta probabilidad de que los EEUU adopten un sistema totalmente digital para la TVAD, hasta el momento no existe conocimiento de un sistema que se halla adoptado ya por ese país, por lo que se analizarán en este capítulo los sistemas propuestos por diversas compañías debido a que estas proponen sistemas tanto digitales como analógicos.

En 1990 la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) solicitó propuestas para un sistema de TVAD, con el requisito adicional de que el sistema adoptado debía ser totalmente compatible con el sistema NTSC 525/60 existente. A finales de 1990 existían seis compañías estadounidenses habían anunciado su intención de desarrollar un sistema de TVAD digital, con lo que quedaba prácticamente asegurado que cualquier sistema que aprobara la FCC, sería casi con seguridad un totalmente digital.

En ese momento Zenith Electronics Corporation, que era uno de los principales litigantes trabajaba en colaboración con los laboratorios Bell quienes habían desarrollado un algoritmo digital que comprimía la señal de TVAD, que normalmente necesitaba un ancho de banda de 27mhz, en un ancho de banda de solo 6Mhz sin pérdida perceptible de resolución esta compresión de las señales mencionadas era algo imposible de lograr hace menos de diez años.

En un momento dado, la junta asesora de la FCC tenía mas de 20 propuestas de sistemas de TVAD; sin embargo la lista se redujo y finalmente prevalecieron cinco.

Para explicar las diferencias entre ellas se hará mención de el número de líneas de exploración utilizadas, la velocidad del cuadro y si el sistema utiliza exploración progresiva o interconexión.

El sistema actual NTSC utiliza 525 líneas por cuadro y 59.94 (normalmente se dice 60) cuadros por segundo y con una exploración entrelazada de 2:1. En el lenguaje común de normas de televisión a esto se le llama un 525/60/2:1. En comparación, el sistema MUSE Japonés es de 1050/60/2:1, el sistema entrelazado ATVA es de 1050/60/2:1, mientras que el ATVA progresivo funciona a 787.5/60/1:1. El EDC-TVAD funciona a 787.5/60/1:1, la TVAD utiliza 1.050/60/2:1, y la TVCA, 525/60/1:1 cuadro 3.1

La selección de estas relaciones es la medida de la calidad de la imagen del sistema pero, cuanto mejor es la calidad de la imagen, menores probabilidades existen de que el sistema se mezcle con la norma NTSC existente. El 1125/60 de MUSE estrecha presenta compatibilidad con la norma de producción 1125/60, pero las velocidades de líneas y de cuadros necesitarán un equipo de conversión para la transformación a NTSC. por otra parte, mientras que las normas 1050 propuestas carezcan de la resolución del sistema de 1125, al ser múltiplo directo de 525, la línea será mas fácil de convertir.

Un factor muy importante en la introducción de la TVAD en EEUU, es el hecho de que la FCC insiste en que cualquier nuevo sistema de TVAD debe ser totalmente compatible con los receptores de televisión existentes. Es prácticamente cierto que la solución será la teledifusión simultánea. Un sistema de teledifusión simultánea es aquél en el que el nuevo servicio de TVAD emitirá simultáneamente con las transmisiones de NTSC

La propuesta de Zenith, por ejemplo utiliza las técnicas que comprimen los programas de TVAD de un ancho de banda de 30Mhz a otro de 6Mhz, adecuado para transmitir en la red de UHF. En el receptor, el ancho de banda comprimido se expande hasta 30Mhz visualizándose como TVAD.

Sistema propuesto	Líneas/Hz	Exploración
TVCA: TV compatible avanzada propuesta por NBC/Philips/Thompson y Sarnoff Research Center	525/59.94	1:1
MUSE estrecho, propuesto por NHK, el organismo de radiodifusión Japonés	1050/59.94	2:1
TVAD de espectro digital compatible de Zenith Electronics y AT&T	787,5/59.94	2:1
TVAD digital avanzada propuesta por NBC/Philips/Thompson/Sarnoff	1050/59.94	2:1
Sistema progresivo de TVAD propuesto por General Instruments y MIT	787.5/59.94	1:1

Cuadro 3.1 Sistemas competitivos de TVAD en EEUU

Independientemente del sistema que sea aceptado finalmente, todas las propuestas pasarán por las siguientes pruebas de evaluación:

1) Funcionamiento en interferencias.

Frente a los canales de NTSC así como a los que llevan la señal de TVAD, condiciones de los canales comunes, canales contiguos y canales prohibidos

2) Susceptibilidad a los trastornos.

Tanto en transmisión por cable como en radiodifusión, como son: parásitos de corta duración e intermitente, trayectoria múltiple/microrreflejos, vibración del sonido de los aviones, frecuencias discretas representando otros servicios de radio, distorsión de segundo y tercer orden, etc.;

3) Calidad de imagen.

Evaluaciones subjetivas de televidentes típicos y comentarios detallados de televidentes expertos sobre resolución estática y dinámica, calidad del vídeo deteriorada y no deteriorada, etc.

4) Funcionamiento de audio

Medidas objetivas y evaluaciones subjetivas, tanto deterioradas como no deterioradas.

5) Información operativa clave.

Como Potencia de máxima a media, desvanecimiento en corte de escenas y contenido, borde del área de servicio, rendimiento, etc.

Es probable que el sistema seleccionado por el comité de estudio de la FCC sea una de las cuatro propuestas digitales; sin embargo como hasta el momento no se ha llegado a una resolución al respecto, es que se ha incluido este tema en el presente capítulo

SISTEMA DE TVAD JAPONES

SISTEMA DE NHK: MUSE

NHK, el organismo de radiodifusión japonés, inició sus investigaciones a finales de la década de los 70, el resultado de esto es el sistema MUSE de TVAD (figura 3. 5). MUSE, o Multiple Sub Nyquist Sampling Encoding (Codificación de Muestreo Sub-Nyquist Multiple), fue desarrollado inicialmente para ser usado en el sistema RDS (Radiodifusión directa de Satélite) en la banda de 12 Ghz. Desde entonces, el MUSE se ha extendido hasta llegar a ser el sistema jerárquico apto para la radiodifusión terrestre en el espectro UHF, CATV, VCR y vídeo discos.

El sistema MUSE mejora la calidad de imagen de la televisión y la tasa de la relación señal-ruido utilizando técnicas de compensación del movimiento, principios de luminancia casi constante y énfasis no lineal con compresión de banda. El núcleo de los diferentes sistemas MUSE es MUSE T. MUSE T fue desarrollado para ser utilizado con RDS y necesita un ancho de banda de aproximadamente 50mhz para transmisión de FM.

CALCULO DE LA RELACION SEÑAL-RUIDO EN TRANSMISIONES VIA SATELITE

Las ecuaciones 3.15 y 3.18 son dos fórmulas equivalentes que relacionan el nivel señal-ruido a la salida de un demodulador de FM con el total de la relación portadora-ruido a la entrada del mismo. Y como puede apreciarse, realizan una comparación entre la potencia total de la señal y la potencia total del ruido (S/N) y los valores que predicen pueden ser mejorados mediante el uso de el preénfasis sin embargo esto debe ser calculado

adecuadamente debido a la característica del ojo humano a presentar una respuesta no uniforme al ruido blanco que se encuentra en el ancho de banda de vídeo.

El factor preénfasis se denota por la letra p y el factor de cálculo por la letra q . Si se expresan en decibeles, quedan como P y Q respectivamente.

Si se incluyen en las ecuaciones 3.15 y 3.18 quedan las relaciones de la siguiente forma:

$$(S/N)_v = (C/N)_i + 1.76 + 10 \log_{10} \left(\frac{BIF}{f_v} \right) + 20 \log_{10} \left(\frac{\Delta f_{pico}}{f_v} \right) + P + QdB \quad (3.23)$$

$$(S/N)_v = (C/N)_i + 10 \log_{10} [3m^2(1+m)] + P + QdB \quad (3.24)$$

Aquí f_v es la máxima frecuencia de modulación de vídeo (4.2 Mhz en el estándar de E.U.A.) y el índice de modulación m es $\Delta f_{pico}/f_v$. Si se sustituye el valor de Δf_{pico} por el valor típico de 10.75 Mhz en la ecuación, se obtiene:

$$(S/N)_v = (C/N)_i + 18.5 + P + QdB \quad (3.25)$$

Los valores usados para P y Q dependen de las características del ruido de los sistemas de televisión en particular, así como de la respuesta individual de cada espectador a el ruido existente en la pantalla de televisión lo cual es un aspecto subjetivo, Pero los valores

usados comúnmente van de 18 a 26 dB. Estos valores permiten mejoras en la relación señal-ruido en un rango que va de 36.5 a 44.5dB.

IV. TRANSMISION DIGITAL

INTRODUCCION

La principal diferencia entre un sistema de comunicación digital y un sistema de comunicación analógico es que, en el primero se transmite una forma de onda determinada, esto dentro de un número finito de formas de onda posibles, mientras que en el caso de la comunicación analógica el número de formas de onda posibles es en teoría, infinito como se muestra en la figura 4.1 Partiendo de este concepto es importante dejar establecido que, el objetivo de un sistema de comunicación digital no es propiamente reconstruir con precisión la forma de onda que se transmitió sino, determinar a partir de una señal, que ha sido afectada en cierto grado por el ruido cual es la forma de onda enviada por el transmisor dentro de ese conjunto finito de formas de onda posibles

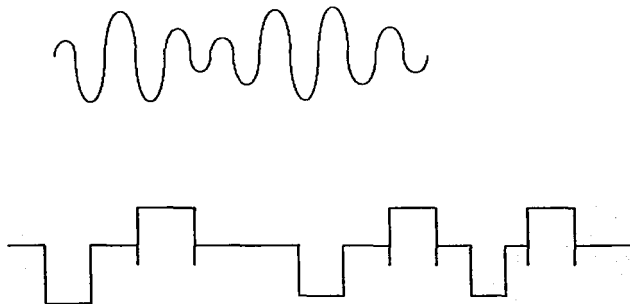


Figura 4.1 Comunicación analógica y comunicación digital

VENTAJAS DE LA TRANSMISION DIGITAL

Hemos hablado ya de lo que es la transmisión digital y sus características, sin embargo podemos hacer la siguiente la pregunta: ¿Por que utilizar un sistema de comunicación digital?. Las razones son las siguientes:

- La facilidad de regeneración de las señales
- Mayor confiabilidad
- Mejor desempeño
- Simplicidad para combinar señales
- Seguridad en la información
- Flexibilidad

● FACILIDAD DE REGENERACION DE LAS SEÑALES

Como se puede apreciar, en la figura 4.2 la forma de onda de un pulso digital que se propaga a través de una línea de comunicación se ve afectado por las siguientes condiciones:

1) Características de transferencia de la línea de transmisión.

Como no existe línea de transmisión alguna cuya función de transferencia sea ideal se presenta un efecto de distorsión en el pulso que se trasmite a través de ella producto de las siguientes condiciones: Atenuación, Capacitancia e Inductancia

2) Ruido e interferencia

Estos dos factores ocasionan que la forma de onda del pulso se degrade en función de la longitud de la línea de transmisión. Sin embargo, dado que los circuitos digitales funcionan utilizando dos rangos determinados de voltaje para representar sus dos posibles estados dicho pulso es fácilmente regenerado siempre y cuando sea identificable, es decir que no haya caído por debajo de cierto umbral de decisión y pueda tomar un valor ambiguo. El pulso es amplificado (por un dispositivo llamado regenerador) recobrando así su forma de onda original. El pulso es regenerado.

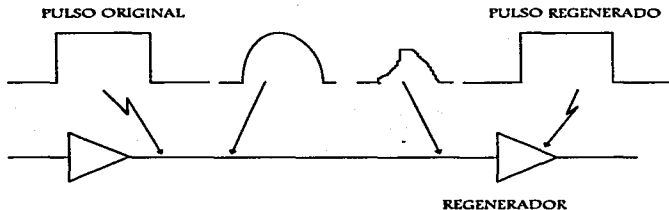


Figura 4.2 Degradación y regeneración de un pulso digital

Los circuitos digitales son menos susceptibles a la distorsión, interferencia o ruido que los circuitos analógicos puesto que, como se ha visto estas perturbaciones son menos acumulativas en una cadena de transmisión digital que en una analógica.

Como las señales analógicas no tienen dos estados; estas pueden tomar un número infinito de formas, incluso una distorsión pequeña puede causar que la forma de onda producida sea inaceptable, y una vez que la señal analógica es distorsionada, esta distorsión no puede ser removida mediante la amplificación

● MAYOR CONFIABILIDAD.

Es posible obtener tasas de error muy bajas mediante el uso de técnicas digitales de detección y corrección de errores (aún en el caso de existir un número considerable de errores a nivel de bit) con lo cual se obtiene una fidelidad de señal muy alta. Estas técnicas son entre otras:

-Verificación de paridad

-Checksum

-Verificación de redundancia cíclica

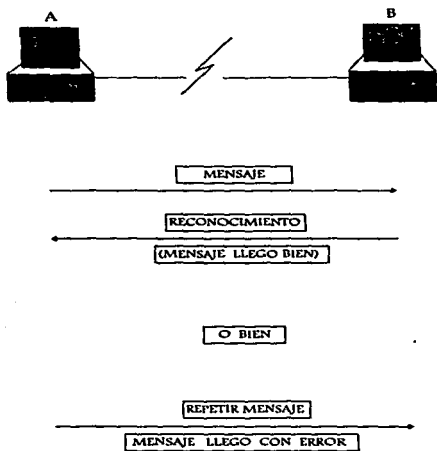


Figura 4.3 Detección y corrección de errores

● MEJOR DESEMPEÑO

Un buen ejemplo de este aspecto es la implementación de filtros digitales para procesar las señales, con lo cual se logran características de algunos parámetros muy superiores a las de los filtros analógicos como respuesta a la frecuencia y atenuación.

Otro aspecto importante es que la función de transferencia de un filtro digital puede modificarse en el grado deseado con solo cambiar los valores numéricos de los parámetros a través de programas.

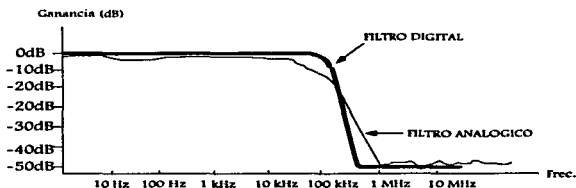


Figura 4.4 Respuesta de un filtro digital y de un filtro analógico

● SIMPLICIDAD PARA COMBINAR LAS SEÑALES

La combinación de señales digitales mediante el multiplexaje por división de tiempo (TDM), es más sencillo que la combinación utilizando multiplexaje por división de frecuencia (FDM) en el caso de las señales analógicas

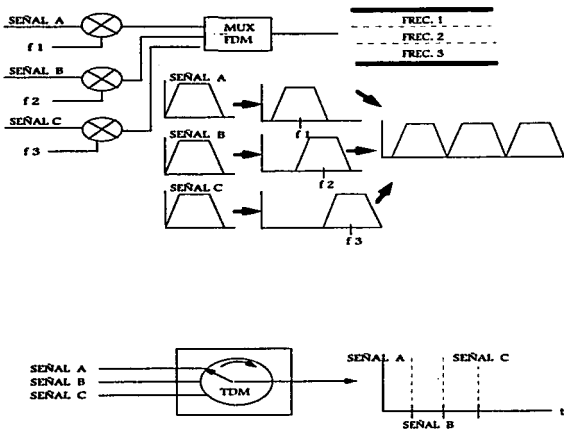


Figura 4.5 Multiplexaje por división de frecuencia y Multiplexaje por división de tiempo

●SEGURIDAD EN LA INFORMACION

Utilizando señales digitales es fácil proveer a esta de inscripción y privacidad mediante el uso de alguna forma de criptografía de mensajes.

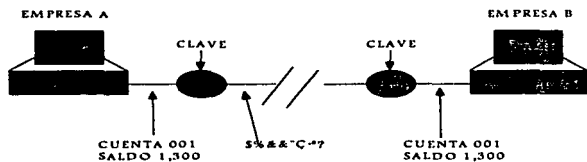


Figura 4.6 Cifrado de mensajes (Criptografía)

●FLEXIBILIDAD

Al utilizar señales digitales es posible agrupar diferentes tipos de ellas (datos, voz, señales de televisión) y pueden ser tratadas de la misma forma para su transmisión o conmutación,

puesto que todas ellas están formadas por "bits". Un claro ejemplo de esto es la red digital de servicios integrados o ISDN, la cual contempla la integración de varios tipos de señales de diferente origen.

De la misma manera, los mensajes digitales pueden ser fácilmente agrupados o subdivididos en "paquetes" de información con características tales que faciliten su conmutación y transmisión (X.25, "Frame Relay").

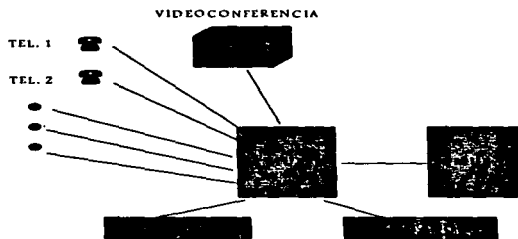


Figura 4.7 Integración de datos, voz y vídeo

DESVENTAJAS DE LA TRANSMISION DIGITAL

- **GENERALMENTE SE REQUIERE DE UN MAYOR ANCHO DE BANDA**
- **SE REQUIERE DE SINCRONIZACION DEL SISTEMA**

MUESTREO Y CUANTIZACION

El primer paso a seguir en el proceso de transmisión digital de información analógica, es transformar esta a un formato digital. Para lo cual debe seguirse el siguiente proceso:

1)-**MUESTREO Y RETENCION.**

2)-**CUANTIZACION**

3)-**CODIFICACION**

MUESTREO Y RETENCION

El proceso de muestreo se puede implementar de diferentes formas siendo el mas común la operación de muestreo y retención. En esta operación, un mecanismo de conmutación y almacenamiento, forman la secuencia de muestras de la forma de onda continua de la entrada. La salida del proceso de muestreo es llamado modulación por amplitud de pulsos (PAM) por lo que, la salida puede ser descrita como una secuencia de pulsos con amplitudes derivadas de la forma de onda de entrada. los pulsos de salida se obtienen multiplicando la señal de entrada por una función de muestreo la cuál consiste en un tren de pulsos idénticos como se muestra en la figura 4.8

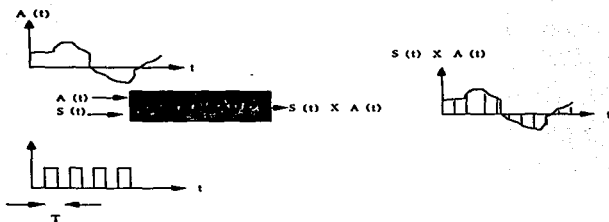


Figura 4.8 Muestreo por medio de el producto de la señal $A(t)$ y una función de muestreo $S(t)$

A este tipo de muestreo se le llama también natural, debido a que la parte superior de cada pulso de la secuencia $S(t) \times A(t)$ retiene la forma de su correspondiente segmento analógico durante el intervalo del pulso, quizá no resulte obvio que los pulsos de el lado derecho de la figura 4.8 contienen toda la información de $A(t)$.

Sin embargo esto puede ser demostrado para lo cuál desarrollaremos $S(t)$ en series de Fourier [$S(t)$ se muestra en la figura 4.9 en donde T es el ancho de los pulsos y $f_s = 1/T$ es la frecuencia de muestreo].

$$S(t) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos n\omega_s t \quad (4.1)$$

donde:

$$c_0 = f_s T$$

$$C_n = \frac{2 \operatorname{sen} n\pi f_s T}{n\pi} \quad n \neq 0$$

son los coeficientes de Fourier.

Si la señal a muestrear es una onda senoidal con frecuencia f_m y amplitud A_m , la señal muestreada será:

$$\begin{aligned} S(t) \cdot A(t) &= S(t) \cdot A_m \cos \omega_m t = \sum_{n=0}^{\infty} A_m c_n \cos n \omega_s t \cos \omega_m t = \\ &= c_0 A_m \cos \omega_m t + c_1 A_m \cos \omega_s t \cos \omega_m t + \dots \\ &+ c_2 A_m \cos 2 \omega_s t \cos \omega_m t + c_1 A_m \cos \omega_s t \cos \omega_m t + \dots \quad (4.2) \end{aligned}$$

Como $\cos \alpha \cdot \cos \beta = 1/2 [\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)]$, la ecuación (4.2) queda:

$$\begin{aligned} S(t) \cdot A(t) &= c_0 A_m \cos \omega_m t + \\ &+ (1/2 c_1 A_m) \cos(\omega_s - \omega_m)t + \\ &+ (1/2 c_1 A_m) \cos(\omega_s + \omega_m)t + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ (1/2c_2 A_m) \cos(2\omega_s - \omega_m)t + \\
 &+ (1/2c_2 A_m) \cos(2\omega_s + \omega_m)t + \dots \dots \dots \quad (4.3)
 \end{aligned}$$

La ecuación (2-3) consiste en pares de bandas laterales centradas alrededor de las frecuencias f_s , $2f_s$, $3f_s$,

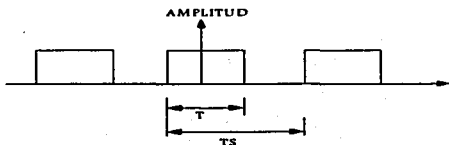


Figura 4.9 Definición de los parámetros del tren de pulsos $S(t)$

En la figura 4.10 se muestra el espectro de la señal muestreada. Como puede observarse, la amplitud de las bandas laterales disminuye a medida que su frecuencia aumenta.

MODULACION POR AMPLITUD DE PULSOS

Como se mencionó anteriormente, se le da el nombre de modulación por amplitud de pulsos a la salida que resulta de el proceso de muestreo y retención

RECONSTRUCCION DE LA SEÑAL

Para recuperar la señal original de la señal muestreada, todo lo que se necesita es extraer todas las componentes de frecuencias que se encuentran fuera de la frecuencia f_m , que es la señal original ($A_m \cos \omega_m t$) multiplicada por una constante (c_0). Esto puede ser llevado a cabo mediante la utilización de un filtro pasabajas, cuya frecuencia de corte f_c cumpla con la siguiente condición: $f_m < f_c < f_s - f_m$

Si la señal a muestrear no es una onda senoidal simple, sino que tiene un espectro de banda limitada, con una frecuencia máxima f_m , el espectro de la onda muestreada es el que se muestra en la figura 4.11. Mediante una línea punteada se indica la respuesta de un filtro pasabajas adecuado para recuperar la señal original.

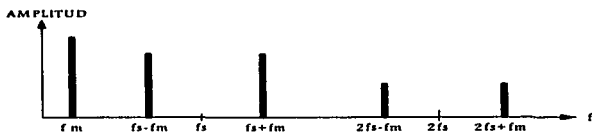


Figura 4.10 Espectro de una onda senoidal muestreada.

TEOREMA DEL MUESTREO

De la figura 4.11 puede extraerse una conclusión muy importante en relación a la frecuencia de muestreo y la máxima frecuencia de la señal a ser muestreada. Para poder extraer la señal original a partir de la onda muestreada, la primera banda lateral (o la máxima frecuencia f_m) no debe superponerse a la segunda banda lateral (o mínima frecuencia $f_s - f_m$), ya que de lo contrario el filtro pasabajas no será capaz de eliminar por completo la segunda banda lateral. Esto significa que la frecuencia mínima de la segunda banda lateral debe ser mayor que la máxima frecuencia de la primera banda lateral, es decir, debe ser $f_m \leq f_s - f_m$, de donde:

$$f_s \geq 2f_m$$

Por lo tanto la frecuencia de muestreo f_s debe ser por lo menos el doble de la máxima frecuencia de la señal, para permitir la reconstrucción de la señal por filtrado.

Este es un principio muy importante llamado teorema del muestreo. La frecuencia mínima de muestreo (llamada también velocidad de muestreo) se le conoce como velocidad de Nyquist.

Por ejemplo, las señales de voz en transmisiones vía satélite son filtradas normalmente para limitar su espectro a un rango que va de 300 a 3400Hz. De esta forma, un canal de voz puede transmitirse realizando un muestreo de al menos 6800 veces por segundo, o expresado de otra forma con una frecuencia de muestreo mínima de 6800Hz. En la práctica, los sistemas telefónicos comunes se utiliza una frecuencia de 8000Hz. Como se requiere un ancho de banda mayor para transmitir el muestreo que para transmitir la señal original, el tiempo que transcurre entre los muestreos de una señal puede ser usado para transmitir muestras de otra señal. A esto se le llama multiplexaje por división de tiempo, (TDM) lo cuál es tema de un capítulo posterior

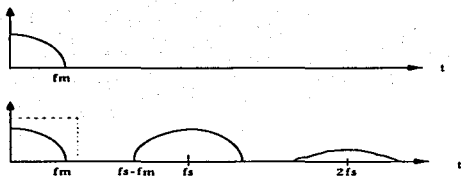


Figura 4.11 espectro de una señal y onda muestreada.

Si muestreamos la señal de la figura 4.11 a una velocidad menor que la velocidad de Nyquist, obtendremos los espectros que se muestran en la figura 4.12

El resultado es que las frecuencias que normalmente se encuentran fuera de la banda de frecuencias de la señal se han desplazado dentro de ella lo que provocará distorsión, a este efecto se le llama "aliasing".

Pero los filtros pasabajas no tienen un punto de corte abrupto puesto que no son ideales por lo que en la práctica la velocidad de muestreo es mayor que la velocidad de Nyquist. En el caso de una señal de voz cuya frecuencia máxima es de 3.4kHz. Se podría transmitir un canal muestreando la señal 6800 veces por segundo, o en otras palabras, sería necesario utilizar una velocidad mínima de muestreo de 6.8kHz. En la práctica es común que los sistemas telefónicos utilicen una frecuencia de muestreo de 8kHz.

Dado que el hecho de transmitir el muestreo de la señal requiere un ancho de banda mayor que transmitir la señal original, el tiempo entre los muestreos de una señal pueden ser usados para transmitir el muestreo de otra señal. A esto se le conoce como multiplexaje por división de tiempo (TDM), lo cuál es tema de un capítulo posterior

CUANTIZACION

Una señal analógica para ser procesada, requiere ser representada de manera adecuada. La señal PAM que hemos venido analizando aún conserva la característica propia de toda señal analógica. en el sentido que presenta un número infinito de posibles valores de manera que es necesario aplicarle algún proceso que limite el número de ellos, el proceso generalmente aplicado es la cuantización

La cuantización consiste en dividir el rango de amplitud de la señal en un número finito de valores discretos, y dependiendo de la amplitud de la señal analógica, se asigna el valor discreto más cercano para cada muestra. La cuantización de las señales trae como consecuencia que la forma de onda original no pueda ser reconstruida en forma totalmente exacta. Aunque será mayor la fidelidad de la señal entre mayor sea el número de niveles de cuantización, pero como es de esperarse el aumento en el número de niveles trae como consecuencia la necesidad de un mayor ancho de banda.

Dependiendo de la forma en la que se realiza la asignación de valores de la señal muestreada existen diferentes tipos de cuantización:

- Cuantización uniforme,
- Cuantización no uniforme

CUANTIZACION UNIFORME

Si el nivel de la señal resultante de el proceso de cuantización está espaciado uniformemente nos encontramos en el caso de cuantización uniforme como se muestra en la figura 4.12. Este sistema no sería muy útil para señales de voz ya que muchos de los niveles raramente serían usados. Además en un sistema que utilice la cuantización uniforme el ruido introducido es el mismo para cualquier magnitud que tenga la señal. Por lo tanto, con cuantización uniforme la relación señal a ruido es peor para señales de bajo nivel que para señales de alto nivel

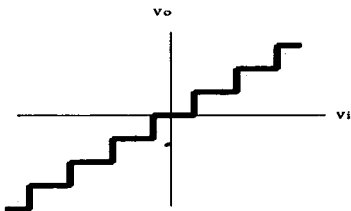


Figura 4.12 Cuantización Uniforme

La cuantificación uniforme puede proveer una cuantificación muy fina para señales débiles, para señales fuertes los niveles de cuantificación son mas separados.

CUANTIZACION NO UNIFORME

Cuando el nivel de la señal producto de la cuantización tiene un espaciamiento no uniforme, nos encontramos con el sistema de cuantización no uniforme, la cuál se muestra en la figura 4.13 en este caso el ruido introducido es proporcional al tamaño de la señal. Esto da como resultado una mejora en la relación señal a ruido reduciendo el ruido en las muy frecuentes señales débiles, a expensas de un incremento de ruido en las poco frecuentes señales fuertes. en la figura 4.14 se hace una comparación de la cuantización uniforme y no uniforme de una señal fuerte contra una señal débil.

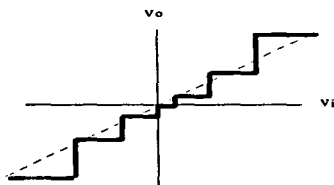


Figura 4.13 Cuantización no uniforme

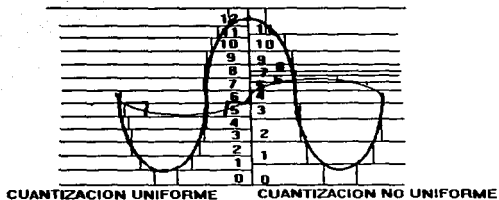


Figura 4.14 Cuantización uniforme contra Cuantización no uniforme

La característica anterior es aprovechada al utilizar la cuantización no uniforme en aplicaciones en las cuales es conveniente dar un trato especial a cierto tipo de señales de entrada de manera que se tenga una mejor relación señal a ruido para ese rango específico de señales.

Esto se lleva a cabo subdividiendo el rango dinámico de entrada en niveles o intervalos irregulares, de modo que el nivel de ruido pueda tener efectos similares para cada intervalo. Este proceso se muestra en la figura 4.13 en donde se aprecia que la señal de entrada primero es modificada mediante un "mapeo de niveles" con lo que se modifica el rango original de niveles de entrada. A este proceso se le conoce como compresión. Una vez que ha sido modificada 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, llamado expansión.

En la práctica, el circuito que realiza estas funciones de compresión y expansión recibe el nombre de COMPANDER (COMpressor-exPANDER)

MODULACION

Aunque ya se ha mencionado la modulación en este capítulo hasta ahora no se ha definido por lo cual se hará a continuación.

La modulación es el proceso mediante el cual los símbolos digitales son transformados en forma de onda compatibles con las características del canal de comunicación.

Al hablar de señales de banda base, se sabe que la forma de onda a la cuál se hace referencia son pulsos, mientras que, en las señales moduladas o de banda ancha, la información a transmitir modula una forma de onda senoidal llamada portadora, la cuál es entonces transmitida a través del canal de comunicación.

Ahora bien, la razón principal para modular una señal original de banda base puede comprenderse de manera clara si se toma en cuenta que, para su transmisión se utilizará la radiación electromagnética.

En el caso de sistemas de radio, la transmisión se realiza mediante el uso de antenas que para ser acopladas eficientemente al sistema, deberán tener una longitud física de cuando menos la longitud de onda (λ) de la frecuencia central a transmitir; de manera que si se quisiera transmitir una señal de banda base cuya frecuencia central fuera de 10kHz, por ejemplo, el tamaño de la antena necesario sería:

$$\lambda = c/f$$

Donde:

λ = longitud de onda

c = velocidad de propagación de la luz

f = frecuencia de la señal

$$\lambda = (3 \times 10^8 \text{ m/s}) / (10^6 \text{ Hz})$$

$$\lambda = 3 \times 10^2 \text{ m} = 300 \text{ m}$$

Si esta señal se modula con una frecuencia portadora de 400MHz por ejemplo el tamaño necesario de la antena sería:

$$\lambda = c/f = (3 \times 10^8) / (400 \times 10^6) = 0.75 \text{ m}$$

Otra razón para utilizar la modulación para la transmisión de señales es la de permitir multiplexar varias señales diferentes a través del mismo canal de comunicación. Esta técnica conocida como multiplexaje por división de frecuencia (FDM) se analizará posteriormente.

La modulación también se usa para modificar la banda de frecuencia del espectro de una señal hacia otra banda donde sea más sencillo el filtraje o la amplificación de esta, la señal resultante se conoce como frecuencia intermedia o FI y es muy comúnmente usada en los radio receptores.

TECNICAS DE MODULACION

Las diferentes técnicas de modulación están basadas en la modificación de los tres parámetros básicos de toda onda senoidal:

- **AMPLITUD**
- **FRECUENCIA**
- **FASE**

De manera que, mediante este proceso se hace variar la amplitud, frecuencia o fase de una portadora, o alguna combinación de ellas, de acuerdo con la información a transmitir. Figura 4.15

En base a lo anterior, tenemos que, los tipos básicos de modulación digital son los siguientes:

- **Phase Shift Keying (PSK)**
- **Frequency Shift Keying (FSK)**
- **Amplitude Shift Keying (ASK)**
- **Amplitude Phase Shift Keying (APSK) o (QAM)**

Para todos los casos existen dos modalidades:

- **De Tipo Coherente**
- **De Tipo No Coherente**

El término coherente, se refiere a que el receptor utiliza la información de fase de la portadora para llevar a cabo el proceso de detección, presentándose un llamado "amarre" de fase entre el receptor y la señal entrante; cuando el receptor no utiliza la fase como referencia, el proceso es llamado detección no coherente

Como es de esperarse, la detección no coherente reduce la complejidad del sistema, pero a costa de incrementar el parámetro de probabilidad de error.

Se ha mencionado que la fase no es usada en la recepción no coherente por lo que cabría preguntarse ¿como se logra una detección no coherente PSK?. Esto se debe al hecho de que para la detección del símbolo actual se utiliza la información de fase del símbolo detectado anteriormente

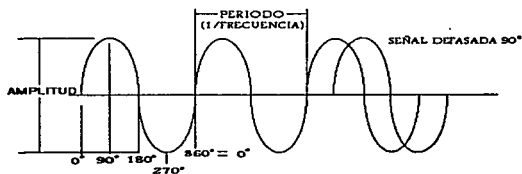


Figura 4.15 Parámetros de una onda senoidal

En el campo de las comunicaciones digitales, los términos demodulación y detección son usados indistintamente, sin embargo, estrictamente hablando la diferencia entre dichos términos es la siguiente:

Demodulación:

Se refiere a la extracción de la señal portadora.

Detección:

Incluye el proceso de decisión de símbolo

MODULACION PSK

La modulación PSK fue desarrollada durante los inicios de el programa espacial de los estados unidos, es usada ampliamente en sistemas de comunicación comercial y militar. la expresión analítica general para PSK es:

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos[\omega_0 t + \phi_i(t)]$$

$$0 \leq t \leq T; \quad i=1, \dots, M$$

Donde la fase $\phi_i(t)$, tendrá M valores discretos, dados típicamente por:

$$\phi_i(t) = \frac{2\pi i}{M} \quad i=1, \dots, M$$

Para modulación PSK binaria, la señal modulada cambia la fase de la forma de onda en 180° o π radianes. Por lo que $M = 2$; E es la energía del símbolo y T es el tiempo de duración del símbolo. Cuando existe una diferencia de 180° entre dos señales se dice que dichas señales son antipodales. En la figura 4.18 se muestra una forma de onda PSK,

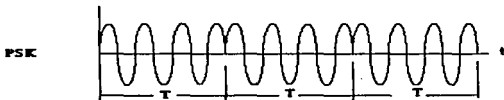


Figura 4.18 Modulación PSK

MODULACION FSK

La expresión general para la modulación FSK es:

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos[\omega_i t + \phi]$$

$$0 \leq t \leq T \quad i = 1, \dots, M$$

Donde la frecuencia, ω , tendrá M valores discretos, y la fase ϕ , es una constante arbitraria. La forma de onda de modulación FSK se muestra en la figura 4.19 donde se aprecian los cambios típicos de frecuencia por cada transición de símbolo. El espaciamiento de las frecuencias de los tonos utilizados para representar un símbolo u otro depende del período de tiempo asignado para cada símbolo.

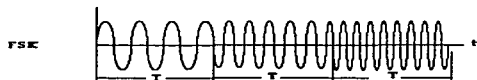


Figura 4.19 Modulación FSK

MODULACION ASK

La expresión analítica de la modulación ASK es:

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E_i(t)}{T}} \cos[\omega_0 t + \phi]$$

Donde la amplitud $2E_i(t) / T$, tendrá M valores discretos, y la fase, ϕ es una constante arbitraria. En la figura 4.20 se puede apreciar esta forma de onda en donde una de las señales tiene una amplitud igual a $2E/T$ y la otra tiene una amplitud igual a cero.

Esta fue una de las primeras formas de modulación digital usadas en radiotelegrafía a principios de siglo.

La modulación ASK binaria se le conoce también con el nombre de modulación "on-off" (on-off keying).

En la actualidad este tipo de modulación no es usada tan ampliamente en los sistemas de comunicación digital como los otros tipos de modulación.

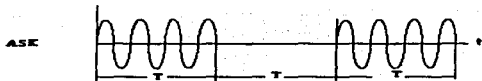


Figura 4.20 Modulación A S K

MODULACION A P K

Este tipo de modulación es una combinación de los tipos ASK y PSK, es decir existen cambios simultáneos de amplitud y fase como puede observarse en la figura 4.21.

La expresión analítica es:

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E_i(t)}{T}} \cos[\omega_0(t) + \phi_i(t)]$$

$$0 \leq t \leq T \quad i = 1, \dots, M$$

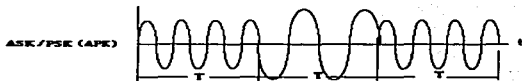


Figura 4.21 Modulación A P K

En la figura 4.22 se puede apreciar los diferentes tipos de modulación ya mencionados en relación a una misma señal de entrada.

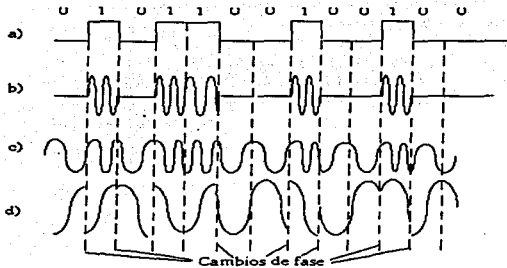


Figura 4.22 Tipos de modulación

TRANSMISION DIGITAL DE SEÑAL DE TELEVISION

A pesar de que la transmisión de televisión vía satélite ha mantenido aún la modulación analógica, como forma generalizada, se ofrece desde hace algunos años la transmisión digital de televisión con ancho de banda comprimido. Este servicio estaba dedicado en un principio exclusivamente a la transmisión de teleconferencias servicio que permite la transmisión de vídeo y audio interactivo para reuniones y conferencias, si el estándar de la señal de banda base de vídeo se digitalizara y transmitiera sin codificar esta señal requeriría una señal mínima de muestreo de 8.4Mhz, y una velocidad de transmisión de bit por arriba de los 50 Mbps, pero los cuadros de televisión son muy redundantes , por lo que se requiere

una velocidad de transmisión de bit mucho menor para transmitir la diferencia entre los cuadros sucesivos que para la transmisión de los cuadros mismos.

Es posible reducir aún más la velocidad de transmisión, si el transmisor y el receptor utilizan Codificación Predictiva Lineal. El grado de redundancia en los cuadros sucesivos de televisión varía inversamente con el movimiento de las figuras principales en la transmisión, por lo que una reducción en la velocidad de transmisión de bit trae como consecuencia un deterioro en la habilidad del sistema para reproducir el movimiento de los objetos. Esto puede ser cuestionable en la televisión de entretenimiento, pero en el caso de una teleconferencia, los participantes normalmente se encuentran sentados en un solo lugar, por lo que puede usarse la técnica llamada compensación de movimiento para mejorar la presentación del movimiento lineal asociado con el "paseo" de la cámara. El resultado es que la transmisión de teleconferencias se realiza a una velocidad de 1.544Mbps.

RADIODIFUSION DIRECTA POR SATELITE

Cualquier sistema de transmisión cumple con un compromiso entre una serie de factores en los que se incluyen:

- a) La frecuencia de uso.
- b) El ancho de banda disponible.
- c) La potencia disponible en el transmisor.
- d) La calidad de servicio deseada para el consumidor.

En la difusión de señales de televisión por satélite existen dos tipos de servicio de transmisión que alcanzaron gran importancia durante la década pasada:

- a) Los sistemas TVSR y TVACS.

b) La teledifusión directa por satélite a los hogares de los televidentes.

La diferencia principal entre los sistemas del primero y segundo inciso está en el diseño de la terminal receptora. Los sistemas de televisión sólo de recepción (TVSR), y de antena colectiva por satélite (TVACS), están destinados a recibir señales de televisión y a retransmitirlas después a los hogares de los televidentes, normalmente mediante sistemas por cable.

Debido a que existe solamente un sistema de recepción de satélite puede diseñarse y construirse profesionalmente, y puede también utilizar antenas parabólicas muy grandes comparadas con las de los equipos domésticos, dichas antenas parabólicas, que utilizan frecuencias de la banda Ku pueden tener de 3 a 4 m de diámetro. De forma similar, el sistema de recepción de televisión puede hacerse mucho más sensible que un sistema de recepción doméstico.

En el contexto de la RDS, las cosas son muy distintas. El costo de los sistemas de recepción de televisión debe de estar al alcance del telespectador medio. La antena parabólica de televisión por satélite debe ser pequeña, de 50 a 90 cm de diámetro y de construcción e instalación discreta y barata.

Todos estos factores combinados suponen que la instalación por satélite en el hogar no puede competir en términos de igualdad con los sistemas TVSR/TVACS. Para compensar esta desigualdad entre sistemas receptores vía satélite de tipo doméstico y profesional, WARC 77 estableció determinadas normas para el servicio RDS siendo una de estas la necesidad de una mayor potencia de salida del repetidor

Para un servicio RDS, el emisor puede emplear repetidores con potencias de salida de hasta 240 W

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

V. MULTIPLEXAJE

INTRODUCCION

Multiplexaje se le llama al proceso que permite la transmisión de señales múltiples por un único canal de transmisión de tal modo que cada señal pueda ser recobrada en el punto terminal de recepción. Por consiguiente, las señales deben ser separadas una de otra de alguna forma. Esto puede hacerse trasmitiendo las señales en diferentes bandas de frecuencia o trasmitiéndolas a diferentes tiempos.

MULTIPLEXAJE POR DIVISION DE FRECUENCIA

Cuando se transmiten las señales en diferentes bandas de frecuencia cada canal de señal es asignado a un sector determinado del espectro. A esto se le llama Multiplexaje Por División de frecuencia (FDM). Cada canal es modulado alrededor de una diferente frecuencia portadora, lo que significa que el espectro de cada canal está desplazado en una cierta medida diferente. En la figura 5.1 se muestra el espectro obtenido del multiplexaje por división de frecuencia de tres canales, donde se ha utilizado modulación de banda lateral superior para cada canal.

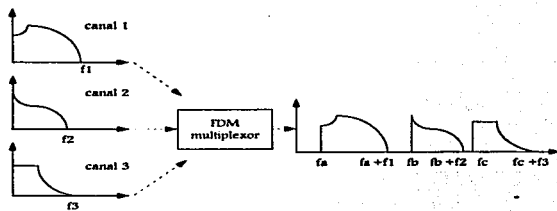


Figura 5.1 Espectro de FDM

Los canales individuales son separados de la señal FDM por medio de filtrado de la señal a través de filtros pasabanda apropiados y demodulando separadamente cada banda lateral. Este tipo de multiplexaje es usado comúnmente en señales de tipo analógico. Las principales desventajas del FDM son: La complejidad de los circuitos que se requieren para su implementación y el efecto que hay de un canal sobre los canales adyacentes a lo que se llama diafonía (Crosstalk)

MULTIPLEXAJE POR DIVISION DE TIEMPO

Cuando se transmiten los canales en tiempos separados, cada uno es transmitido en un instante particular de tiempo. A esto se le llama Multiplexaje por división de tiempo (TDM). En la figura 5.2 se muestra un diagrama esquemático de un sistema TDM. Los conmutadores conectan el transmisor y el receptor a cada uno de los canales por turno durante un cierto período.

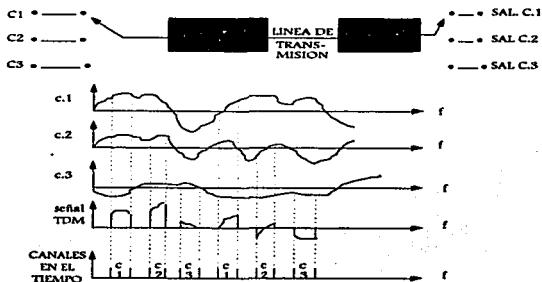


Figura 5.2 Diagrama esquemático del sistema TDM y formas de onda

Puede verse que la escala de tiempos se divide en canales de tiempo que están repartidos entre los distintos canales de la señal. Cuando el sistema utiliza modulación analógica (por

ejemplo PAM), los distintos canales de tiempo están separados por canales o bandas de guarda, destinados a evitar diafonía entre canales. En el sistema mostrado en la figura 5.2, las señales son transmitidas por PAM.

La ventaja principal del TDM sobre FDM radica en que en TDM no se requiere translación de frecuencia, lo que implica que no se exigen filtros y moduladores complejos.

CONSIDERACIONES PRACTICAS EN SISTEMAS TDM

Tomaremos como ejemplo para esto un sistema PAM-TDM de dos canales como se muestra en la figura 5.3.

Cuando los conmutadores se encuentran en la posición C1, el canal 1 constituye un canal de PAM con un filtro pasabajos de salida (FPB1) para la reconstrucción de la señal.

Cuando los conmutadores están en la posición C2, el canal 2 constituye un canal de PAM con el filtro FPB2 para la reconstrucción.

Uno de los principales problemas de cualquier sistema TDM es la sincronización del circuito de tiempos del transmisor y del receptor. En primer lugar, la frecuencia de operación debe ser la misma en el transmisor y en el receptor, de lo contrario los conmutadores cambiarán de posición en tiempos distintos.

Ahora bien, existe todavía la posibilidad de que LL1 esté en la posición C1 mientras que LL2 está en la posición C2. Resulta entonces necesario asegurar que los conmutadores estén sincronizados no solo en frecuencia sino también en posición.

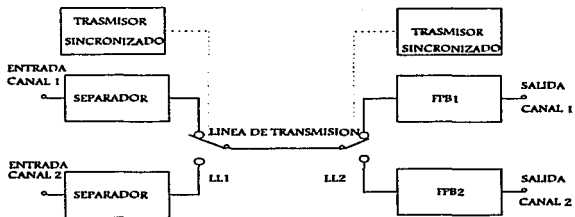


Figura 5.3 Sistema PAM-TDM de dos canales

Otro problema que surge en sistemas TDM al utilizar pulsos analógicos es el de diafonía. Puesto que el canal de transmisión no es ideal, distorsionará los pulsos transmitidos por él. Cuando se transmite un pulso cuadrado, el canal de transmisión atenuará sus altas frecuencias o bajas frecuencias o ambas. En la figura 5.4 se muestran los pulsos de salida resultantes.

Las zonas sombreadas en la figura 5.4 muestran el traslape de un pulso sobre el siguiente. El comportamiento de la línea de transmisión es similar al de un circuito RC pasabajos o pasaltos.

DIAFONIA DEBIDO A ATENUACION DE ALTA FRECUENCIA

Los traslapes mencionados anteriormente, forman una serie de pulsos cuya frecuencia es igual a la velocidad de muestreo. Este tren de pulsos puede ser desarrollado en series de Fourier, consistiendo en una componente de C. C. y otras componentes cuyas frecuencias son armónicas de fs. después del filtro pasabajos solo quedará la componente de C.C. y esta será la contribución de la diafonía a la señal de salida.

Si la constante de tiempo del circuito RC equivalente de la línea de transmisión es T_c , deberá elegirse T_B de modo que $T_B \gg T_c$ y $T \gg T_c$, ya que T_B (la banda de tiempo de guarda) se elige para minimizar la diafonía.

El área del pulso en C1 está dada por:

$$A1 = \int_0^T V(1 - e^{-T/T_c}) dt = V(T + T_c e^{-T/T_c} - T_c) = VT$$

El área traslapada está dada por:

$$A12 = \int_0^T [V(1 - e^{-T/T_c})e^{-T_c/T_c}]e^{-T/T_c} dt =$$

$$\begin{aligned}
 &= V(1 - e^{-T/T_c})e^{-T_c/T_c} [T_c - T_c e^{-T/T_c}] \\
 &= V T_c e^{-T_c/T_c}
 \end{aligned}$$

El factor K de diafonía está definido por el área traslapada dividida entre el área del pulso, que en este caso (suponiendo que los pulsos en ambos canales son iguales) es:

$$KH = \frac{A_{12}}{A_2} = \frac{A_{12}}{A_1} = \frac{T_c}{T} e^{-T_c/T_c}$$

DIAFONIA DEBIDO A LA ATENUACION DE BAJAS FRECUENCIAS

Puede demostrarse de modo similar que la diafonía en este caso estará dada por:

$$A_{12} \approx V \frac{T^2}{T_c}; A_1 = A_2 = VT$$

y

$$KL = \frac{T}{T_c}$$

En el caso de atenuación de alta frecuencia se requería $T_c \ll T$, mientras que en este caso el requerimiento es $T_c \gg T$, lo que significa que en el caso de una transmisión con atenuación de bajas y altas frecuencias resulta virtualmente imposible eliminar la diafonía.

SINCRONIZACION

Ya se ha mencionado anteriormente por qué es esencial la sincronización pero ahora se verá como lograrla.

Sincronización significa que el transmisor y el receptor operan con una misma escala de tiempos, pero no necesariamente que ellos realicen la misma operación en el mismo tiempo. Si el tiempo que toma la señal para llegar al receptor desde el transmisor es por ejemplo $10 \mu\text{seg}$, la escala de tiempos del receptor está $10 \mu\text{seg}$ atrasada con respecto a la escala de tiempos del transmisor, tal como se muestra en la figura 5.4

Por lo tanto, lo importante es que T_1 en la escala de tiempos del receptor sea equivalente a T_1 en la escala de tiempos del transmisor. Para sincronizar las escalas de tiempos, el transmisor debe enviar un pulso particular o una serie de pulsos, diferentes de los pulsos de información.

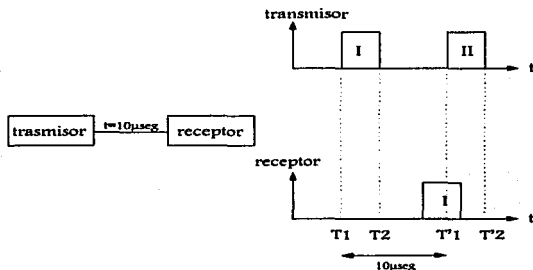


Figura 5.4 Escalas de tiempo del transmisor y receptor

En un sistema analógico (por ejemplo PAM), este puede ser un pulso diferente de los pulsos de información (polaridad opuesta por ejemplo), e introducirlo a intervalos regulares. En sistemas digitales, generalmente se utilizan series de pulsos de repetición para lograr la sincronización. Esto exige la agrupación de los canales de tiempo de algún modo particular, dejando bandas para los pulsos de sincronización.

La figura 5.5 muestra el arreglo de canales de tiempo en un sistema TDM de dos canales. La unidad básica -trama- está compuesta por canales de tiempo. Se destina un canal de tiempo para el pulso de sincronización y a cada canal se le asigna uno o más canales de tiempo consecutivos. Pueden utilizarse canales adicionales de tiempo para transferencia de datos o como canales de servicio.

Si se utiliza una serie de pulsos de sincronismo, se transmite un pulso de este tipo por cada trama. La serie completa necesitará una cantidad de tramas para la transmisión. Este grupo de tramas es llamado supertrama.

Por lo cuál una supertrama contiene una cantidad de tramas, mientras que una trama contiene una cantidad de canales de tiempo, cada uno de los cuales tiene una función particular, conteniendo ya sea pulsos de información, de sincronismo, datos, o pulsos de servicio (en una red de TDM comercial que transporta llamadas telefónicas, la información relativa a la operación del sistema es transmitida por los canales de servicio).

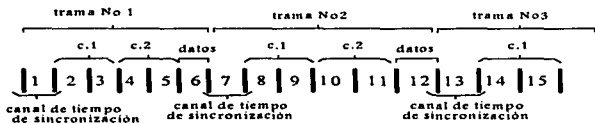


Figura 5.5 Arreglos de una trama en un sistema TDM con dos canales de tiempo asignados a cada canal y un canal de tiempo para transmisión de datos

Las desventajas que presentan los pulsos de sincronización analógicos radican en la posibilidad de que puedan ser distorsionados en la línea de transmisión y no sean reconocidas como pulsos de sincronismo en el receptor, o que otros pulsos puedan ser incorrectamente reconocidos como pulsos de sincronismo. Por estas razones se usan generalmente pulsos de sincronismo digitales tanto en sistemas digitales como analógicos.

PROCESO DE SINCRONIZACION

A serie de pulsos de sincronismo digitales se le llama "palabra de sincronismo". Como hemos visto, en cada trama se envía un bit de la palabra de sincronismo

En la figura 5.6 se describe un tipo del proceso de sincronización. El receptor determina arbitrariamente su propia escala de tiempos y entonces verifica si está sincronizada con la escala de tiempos del transmisor. en la figura 5.6, cada trama está compuesta por cinco canales de tiempos designados "0", "1", "2", "3", "4". El bit de sincronismo está en el canal de tiempos "0".

El receptor verifica si los bits que llegan durante su canal de tiempos "0" pertenecen a la palabra de sincronismo. Si es así, las escalas de tiempo están sincronizadas. Si no es así, como se muestra en la figura 5.6, el receptor redefine su escala de tiempos durante un canal de tiempo. El resultado se muestra en la segunda línea de la figura 5.6 y, de hecho, significa que la escala de tiempos del receptor avanzó un canal de tiempo en relación a la escala de tiempos del transmisor.

Este proceso continúa hasta que la escala de tiempo del receptor se sincroniza con la del transmisor, y los bits de sincronismo son recibidos por el receptor en su canal de tiempo "0".

Si la palabra de sincronismo contiene N bits y la trama es de M bits, el tiempo que requiere el receptor para recibir una palabra de sincronismo completa es de $M \cdot N$ canales de tiempo. La cantidad de definiciones incorrectas de las escalas de tiempo es como máximo el número de bits de la trama - M. Por lo tanto, el máximo tiempo requerido para la sincronización es $(M \cdot N) \cdot M = M^2 N$ canales de tiempo, mientras que el tiempo mínimo es $M \cdot N$. Entonces, el tiempo promedio de sincronización es:

$$T_{\text{sinc(prom)}} = \frac{1}{2}(M^2 N + MN) = \frac{1}{2}(M + 1)MN$$

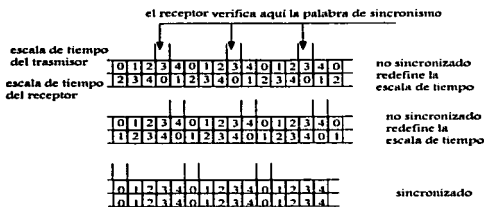


Figura 5.6 Proceso de sincronización

En un sistema que opera con una frecuencia de reloj de 80 kHz, cada canal de tiempo es de 12.5 μ seg. Si hay 10 canales de tiempo en una trama y la palabra de sincronismo es de 7 bits:

El tiempo máximo de sincronización es: $10^2 \cdot 7 \cdot 12,5 \mu\text{seg} = 8750 \text{ mseg}$,

y el tiempo promedio es: $\frac{1}{2}(10 \cdot 11 \cdot 7) \cdot 12,5 \mu\text{seg} = 4812,5 \mu\text{seg} = 4.812 \text{ mseg}$

MULTIPLEXAJE DE LA SEÑAL DE VOZ

Al proceso mediante el cual se cambian los canales analógicos de voz en frecuencia y combinarlos para su transmisión se le llama multiplexaje por división de frecuencia (FDM), el procedimiento se lleva a cabo de una manera jerárquica esto es los canales individuales se combinan en grupos, estos a su vez se combinan en grupos mas grandes y así sucesivamente, tanto el nombre de los grupos como la disposición interna de los canales varían de una administración a otra e incluso de un país a otro. Aquí se analizará la terminología mas común y que es utilizada por Intelsat.

El primer paso para el multiplexaje de señal de voz es combinar 12 señales de banda base en un grupo básico, (llamado simplemente grupo), este grupo se extiende de los 60kHz a los 108 kHz. los canales se acomodan uno después del otro con un intervalo de 4kHz entre ellos, esto es hecho por un modulador en amplitud supresor de portadora de doble lado de banda (DSBSC) por sus siglas en inglés, cada canal de voz es montado en una portadora apropiada, se filtra y extrae la parte superior de la portadora, y se extraen y suman las partes inferiores de ella. El resultado es una señal supresora de portadora de un lado de banda (SSBSC) por sus siglas en inglés, esto se aprecia en la figura 5.7.

La frecuencia de la portadora en kHz del n-simo canal está dada por $112-4n$; de esta forma el canal 1 se encuentra en la parte alta del espectro y el canal 12 esta en la parte baja, los

canales no se encuentran uno después del otro sino que existe una banda de guarda de 0.9 kHz entre uno y otro. Esto se hace para evitar interferencias y para simplificar el proceso de filtrado en el momento de recuperar las señales de banda base en el receptor. Si se escoge la parte baja de la banda en el proceso de modulación, entonces se invierte el espectro de los canales, pero en este caso estos son invertidos nuevamente y puestos de nuevo en el orden correcto en el receptor.

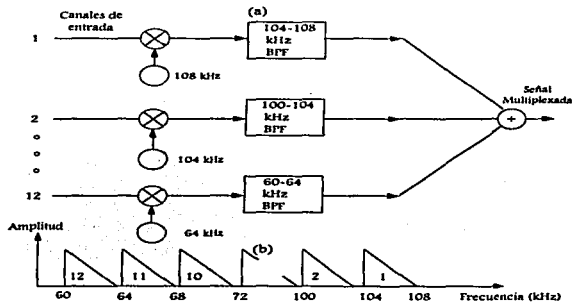


Figura 5.7 Multiplexaje de 12 canales telefónicos los cuales forman un grupo básico
 (a) diagrama a bloques de los circuitos básicos. (b) Espectro de la señal multiplexada mostrando cada canal por separado.

Ahora bien los enlaces entre satélites de comunicaciones y estaciones terrenas manejan mucho más de un grupo de 12 canales, ya que se extiende hacia el supergrupo básico de 60 canales, después a los grupos master básicos de 600 canales y todavía más aún.

La combinación más grande en la jerarquía Intelsat en cuanto a grupos es el supergrupo básico, el cual está compuesto de cinco grupos acomodados en una banda de 240 kHz.

Esto es hecho mediante el proceso SSBSC modulando los grupos individuales sobre portadoras apropiadas sumando la parte inferior de las bandas. La figura 5.8 muestra la construcción de un supergrupo que va de 312 a 522kHz las portadoras tienen un espacio entre sí de 48 kHz de esta forma, el grupo número 5 es el mas alto con una frecuencia de 612 kHz. El espectro de los grupos individuales se invierte en el momento en el que se forma el supergrupo. Pero el espectro de los canales individuales dentro de los grupos es invertido también. Esta segunda inversión lo restaura a su orden original y las señales de cada canal individual en el supergrupo se vuelven versiones modificadas de las señales originales de banda base. Los supergrupos normalmente están separados por bandas de guarda de 12 kHz.

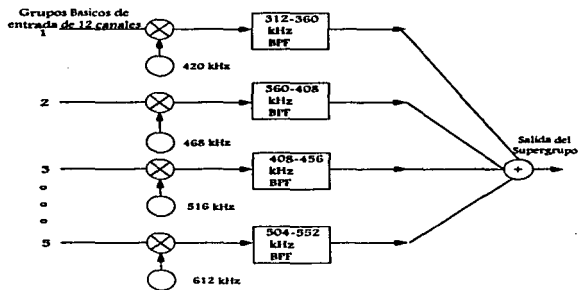


Figura 5.8 Diagrama esquemático del hardware necesario para el multiplexaje de 5 grupos básicos de 12 canales lo cuál forma un supergrupo básico

VI. TECNICAS DE ACCESO MULTIPLE

INTRODUCCION

El acceso múltiple es la posibilidad que se da a varias estaciones terrenas de transmitir simultáneamente sus portadoras respectivas al mismo transponedor del Satélite además de buscar un equilibrio entre el ancho de banda y la potencia disponible del transponedor.

En forma básica las técnicas de acceso múltiple son las siguientes:

- División de frecuencia
- División de tiempo
- División de código
- División de espacio
- División de polarización

A pesar de que existen diversos sistemas de acceso múltiple básicos en la actualidad tres tipos son fundamentales, FDMA, TDMA y DAMA

ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE FRECUENCIA (FDMA):

Los sistemas FDMA (Frequency Division Multiple Access), segmentan el ancho de banda de un transponedor (Al equipo que se encarga de recibir una señal, amplificarla, cambiarla de frecuencia y retransmitirla, es llamado transponedor) para la transmisión de portadoras múltiples, esto quiere decir que se pueden acceder varias portadoras en un mismo transponedor.

El ancho de banda asociado con cada portadora puede ser tan pequeño como el destinado a un canal de voz de 9.6 Kbps. El sistema FDMA puede ser utilizado para transmisiones con modulación analógica o con modulación digital.

ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE TIEMPO (TDMA):

Los sistemas TDMA (Time Division Multiple Access), se caracterizan por la utilización de una frecuencia donde el ancho de banda asociado con dicha portadora es en algunos casos el ancho de banda completo del transponedor. Este ancho de banda es compartido en tiempo por todos los usuarios en una ocupación de ranuras de tiempo. A pesar de que la ventaja primordial de el sistema TDMA está relacionada con un sistema que utiliza el ancho de banda completo del transponedor, existen casos en donde dicho ancho de banda puede ser una fracción del ancho total. El sistema TDMA es recomendado exclusivamente en transmisiones que utilizan modulación digital.

ACCESO MULTIPLE POR ASIGNACIÓN DE DEMANDA (DAMA)

Los sistemas DAMA (Demand Assignment Multiple Acces) presentan la característica de asignar una trayectoria solamente cuando un usuario la requiere y, desconectar el circuito cuando este ha realizado su trabajo. Este es un caso especial del acceso múltiple por división de frecuencia

En seguida se describen las principales características de estos sistemas de acceso.

ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE FRECUENCIA

El acceso FDMA es el más simple y consiste en la transmisión simultánea de un número diverso de portadoras a diferentes frecuencias con anchos de banda no traslapados. 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.

En el caso de la transmisión de varias portadoras en un mismo transponedor, se deben utilizar bandas de guarda entre los canales adyacentes para minimizar la interferencia, aunque esto disminuye la eficiencia de utilización del ancho de banda del transponedor. El tamaño de estas bandas de guarda debe considerar las imperfecciones de los filtros que se

utilizan en los transmisores, así como los corrimientos de frecuencia de los osciladores que controlan la operación de los conversores de frecuencia utilizados.

En el sistema FDMA, la capacidad del ancho de banda de un transponedor se divide en los siguientes tipos de bandas:

1) Se puede tener pocas bandas (hasta una portadora por transponedor de 36mhz) de gran capacidad donde cada banda puede manejar un nivel jerárquico del multiplexaje por división de frecuencia con modulación (FDM / FM), o del multiplexaje por división de tiempo con modulación digital (TDM / MPSK)

2) Se pueden tener muchas bandas (con portadoras con un solo canal de voz) cada una de las cuales puede manejar un canal analógico o digital. Este tipo de esquemas se conoce como canal único por portadora (SCPC Single Channel Per Carrier).

3) Se puede tener una mezcla de los dos tipos anteriores.

La figura 6.1 muestra el uso de un transponedor por varias estaciones terrenas a través de FDMA.

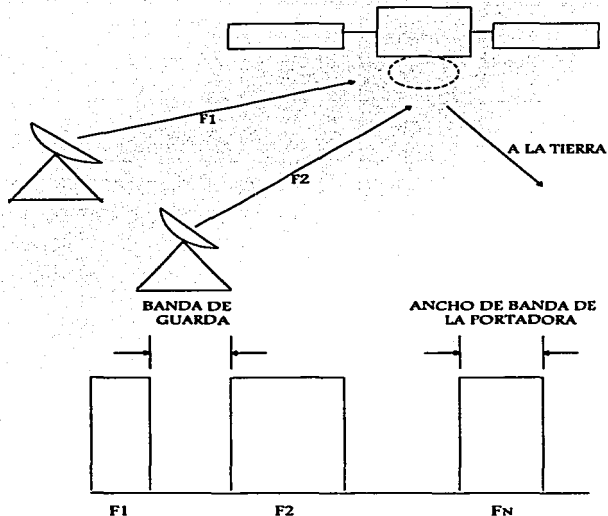


Figura 6.1 Concepto de un sistema FDMA

ESQUEMA FDM / FM / FDMA

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 256 KHz, o bien, grupos de 12 canales con un ancho de banda de 48 KHz, cuando los requerimientos de tráfico son menores como se muestra en la figura 6.2, el supergrupo emitido por una estación A en particular, contendrá canales con destino diferente. Sin embargo, los canales modulan en frecuencia a una portadora en el rango de 70 Mhz a 18 Mhz (F_1). Después, esta portadora será convertida a una frecuencia mayor (RF) para ser radiada a través de la antena. Todas las estaciones que reciben señales de la estación "A" demodulan la portadora y extraen los canales que les corresponden mediante un proceso de filtrado.

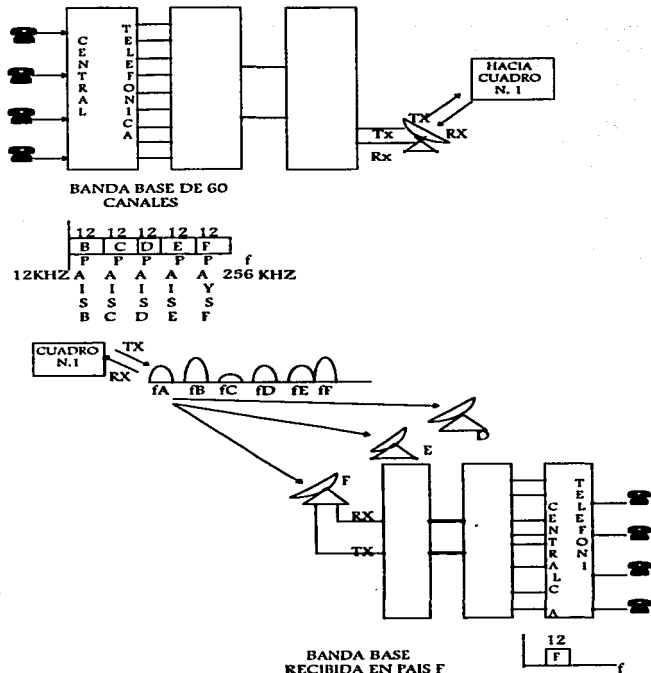


Figura 6.2 Sistema FDM / FM / FDMA

Al haber varias portadoras presentes en el mismo transponedor de un satélite, y debido a la característica no lineal del amplificador de tubo de ondas progresivas (TOP), es necesario operar este último con varios decibelios abajo de su punto de saturación o nivel máximo de potencia de salida. A esta reducción en la potencia aprovechable se le denomina back-off (BO) de salida. Si el amplificador se opera en una región altamente no lineal, se producirán niveles muy altos de productos de intermodulación que afectan significativamente la calidad de las señales amplificadas como se muestra en la figura 6.3

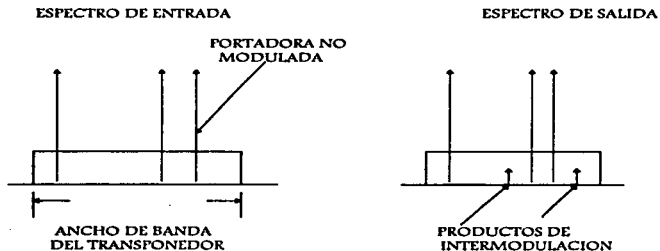


Figura 6.3 Productos de intermodulación en un Transponedor del Satélite

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, (figura 6.4). Es deseable, operar el transponedor en la región comprendida entre el origen y el punto A, que representa la región lineal del

dispositivo. Por ejemplo, los Satélites Morelos operan con un back-off de salida de 4.5 db, en la banda ku.

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

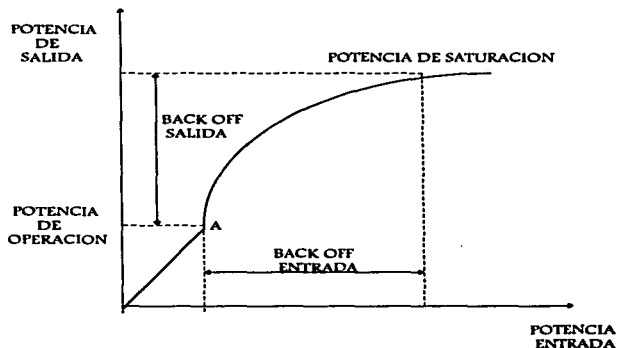


Figura 6.4 Operación de un Amplificador De Satélite

La tabla 6.1 muestra la variación del número de canales para un número diferente de portadoras. Como se puede notar, 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.

Los transpondedores de 36 Mhz, normalmente operan con portadoras de 2.5, 5 ó 10 Mhz. También se tiene el caso en el que se emplee todo el transpondedor por una sola portadora para telefonía (pero 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 o también, dos canales de TV de 18 Mhz en el mismo transpondedor. En el caso de México, los Satélites Morelos (información más reciente) emplean estos dos tipos de canales de 18 Mhz y 36 Mhz para difusión de TV.

No. DE PORTADORAS	ANCHO DE BANDA POR PORTADORA (Mhz)	NUMERO DE CANALES POR PORTADORA	NUMERO TOTAL DE CANALES EN EL TRANSPONDEDOR
1	36	900	900
4	3 DE 10 1 DE 5	132 60	456
7	5	60	420
14	2.5	24	336

Tabla 6.1 No de Canales en un Transpondedor en función del Número de Portadoras

El sistema FDM / FM / FDMA es muy eficiente en el aprovechamiento del espectro en el sentido de que cada enlace entre dos estaciones tiene 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 reutilización de frecuencia. Este es el caso del sistema de Satélites Morelos que emplean reutilización en frecuencia, en banda C.

Debido a la ineficiencia que presenta el sistema FDM / FM / FDMA, se utilizan otros métodos de acceso múltiple que se verán a continuación.

CANAL UNICO POR PORTADORA

SINGLE CHANNEL PER CARRIER (SCPC)

La técnica de canal único por portadora (SCPC) tiene gran aplicación cuando se desea interconectar un número alto 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 FM o en MPSK (figura 6.5)

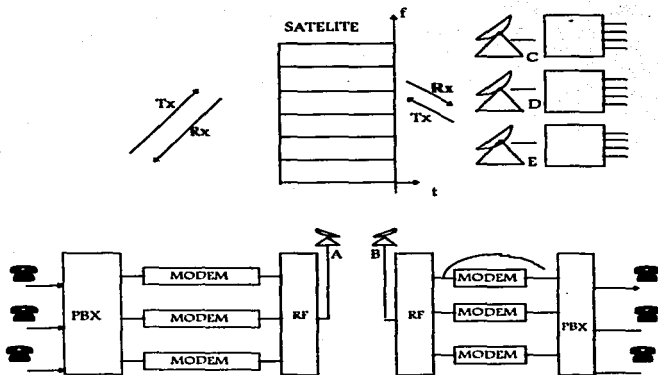


Figura 6.5 Sistema SCPC

Dado que en telefonía las llamadas son alcatorias, el espectro del trasponder 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

asignará 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 éste banco de frecuencias y el criterio es dar "servicio a quien 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 del CCITT), la técnica se le conoce como SPADE (Single channel per carrier PCM múltiple Access Demand assignment Equipment o Equipo de asignación por demanda en acceso Múltiple por canal PCM único por portadora)

ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE TIEMPO

La técnica de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) permite recibir del satélite las transmisiones de las diversas estaciones terrenas de la red con un esquema de ranuras de tiempo separadas y evita, por lo tanto, la generación de productos de intermodulación en un transponedor no lineal. Cada estación terrena debe determinar con precisión el tiempo y rango de adquisición de la señal de tal forma que las señales transmitidas son temporizadas para llegar al satélite en la banda de tiempo apropiada.

La figura 6.6 muestra la configuración típica de una red TDMA donde, cada ráfaga de alta velocidad de energía de RF, (regularmente con modulación QPSK), que llega al satélite es una banda de tiempo asignada.

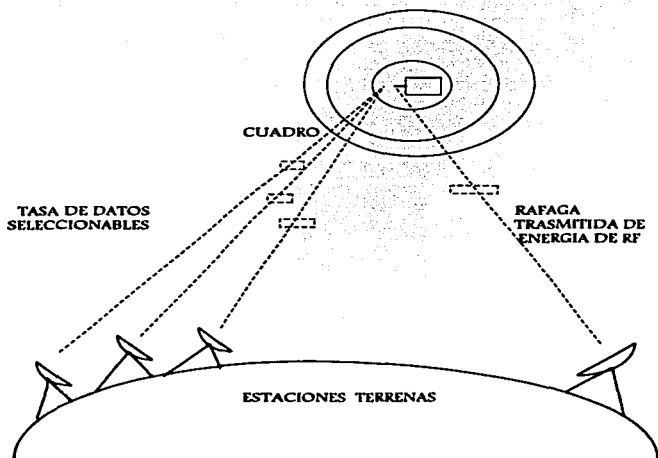


Figura 6.6 Configuración común TDMA

Debido a que solamente se encuentra una señal presente en un momento determinado, en el transpondedor, no habrán productos de intermodulación.

El sistema TDMA permite que el amplificador de potencia de salida del satélite opere en saturación, lo cuál da como resultado un aumento considerable en la potencia útil de salida. Las degradaciones debidas a productos de intermodulación son eliminadas si se utilizan tiempos de guarda suficientes que compensen las inexactitudes de la temporización del sistema. Estos tiempos de guarda generalmente consumen el 10% de la potencia. por lo que el transpondedor opera con eficiencias mayores del 90%.

Cada una de las señales de entrada TDMA tiene señales que son direccionadas a diferentes estaciones, utilizando porciones separadas de la ráfaga TDMA que sigue a la ráfaga de preámbulo tal como se muestra en la figura 6.7

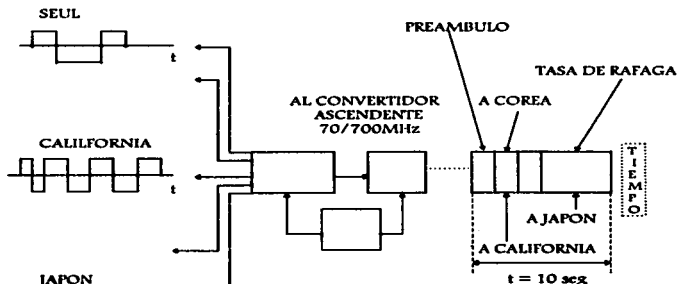


Figura 6.7 Formato de transmisión TDMA

El receptor TDMA demodula cada una de las ráfagas TDMA enviadas para las estaciones transmisoras y las demultiplexa en flujos de bits individuales como se muestra en la figura 6.8

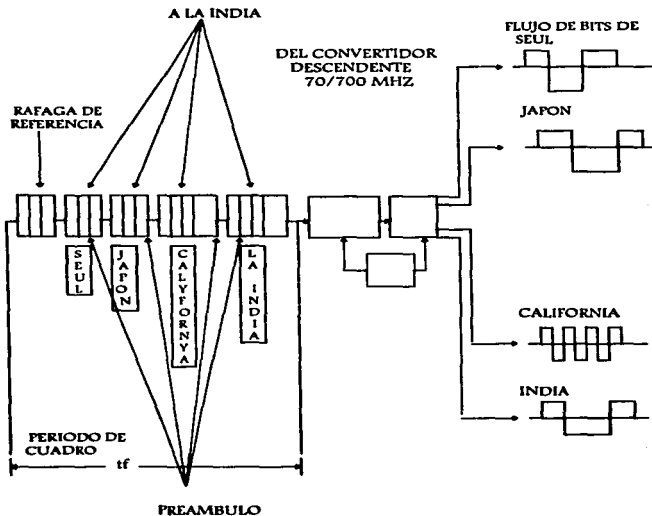


Figura 6.8 Formato de recepción TDMA

ESTRUCTURA DEL CUADRO TDMA

En una red TDMA cada estación terrena transmite periódicamente una o más ráfagas al Satélite. Por lo tanto, las señales de entrada al transponedor de tráfico TDMA consisten en un grupo de ráfagas originado en un número de estaciones terrenas transmisoras. A este conjunto de ráfagas se le llama cuadro TDMA y consiste en los siguientes elementos:

- Dos ráfagas de referencia RB1 y RB2
- Ráfagas de tráfico
- Tiempo de guarda entre las ráfagas
- La longitud del cuadro TDMA es el período entre dos ráfagas de referencia

RAFAGAS DE REFERENCIA

Para efecto de confiabilidad, cada cuadro TDMA consiste en dos ráfagas de referencia RB1 y RB2. La ráfaga de referencia primaria (PRB), que puede ser RB1 o RB2, es transmitida por una de las estaciones terrenas de la red, la cuál es designada como estación terrena de referencia (PRS). Una ráfaga de referencia secundaria (SRB), que puede ser RB1 (si PRB = RB2) o RB2 (si PRB = RB1) se transmite por una estación terrena de referencia secundaria (SRS) lo que permite una conmutación automática en el caso de alguna falla de la estación terrena de referencia primaria, con lo que se evita la falla total del sistema. La ráfaga de referencia no contiene información de tráfico, su utilidad estriba en proporcionar referencias de tiempo para todas las estaciones accedando al transponedor del Satélite. Esto permite el intercalamiento adecuado de ráfagas de tráfico dentro de un cuadro TDMA.

RAFAGA DE TRAFICO

Las ráfagas de tráfico, son transmitidas por las estaciones terrenas que accesan al Satélite. Cada estación terrena puede transmitir una o más ráfagas de tráfico por cuadro TDMA y puede acomodarlas en cualquier parte del cuadro de acuerdo a un plan de tiempo de ráfagas que coordina el tráfico entre estaciones. La longitud de la ráfaga depende de la información por transmitir y, si se quiere, puede cambiarse. La localización de las ráfagas de tráfico en el cuadro están referidas al tiempo de ocurrencia de la ráfaga de referencia primaria.

TIEMPO DE GUARDA

Se requiere un tiempo de guarda pequeño entre ráfagas que se originan en diferentes estaciones, con lo que se asegura que dichas ráfagas no se traslapen al llegar al transponedor. Este tiempo de guarda debe ser lo suficientemente largo para permitir diferencias en la exactitud de temporizadores de transmisión y en las variaciones de la tasa de rango del Satélite. El tiempo de guarda debe ser igual, normalmente, al intervalo de tiempo para detectar el pulso de recepción que marca el inicio de un cuadro TDMA recibido en una estación.

VII. TRANSMISION VIA SATELITE

¿POR QUE SATELITE?

En los capítulos anteriores se han revisado los aspectos fundamentales que intervienen en la comunicación vía Satélite y aunque a lo largo de ellos se ha podido apreciar de algún modo la importancia de la comunicación por este medio hasta ahora no conocemos las principales ventajas que presenta por lo que bien cabría hacer la pregunta: ¿por qué utilizar un Satélite para comunicaciones?.

Los satélites de comunicación han encontrado un uso muy extenso debido a las posibilidades que presentan. Esto puede ser descrito mencionando las siguientes características:

1. No existe problema por la distancia para los satélites. En general, el costo para mandar un mensaje vía satélite es el mismo tanto para un enlace entre dos puntos cuya distancia entre sí sea de 2000 km como para otro cuya distancia sea de solo 10 km.
2. Los satélites son dispositivos de banda ancha. En cada canal de los transpondedores se encuentran disponibles decenas de megahertz y cada canal se puede utilizar entre dos o mas puntos cualesquiera dentro de la cobertura del satélite. Los enlaces de radio terrestre por lo regular se limitan a algunas estaciones de baja capacidad entre los mercados mas grandes
3. Los satélites pueden técnicamente, operar en cualquier estación dentro del punto de vista de su antena.

4. Los satélites no se ven afectados por limitaciones naturales tales como montañas, ciudades, desiertos, océanos, etc

5. Un sistema de satélite puede dar servicio tanto a ciudades grandes como pequeñas de forma idéntica. Los sistemas tradicionales de telecomunicaciones terrestres, han favorecido las grandes ciudades con el equipo más moderno, mientras que en las áreas rurales se han manejado con el equipo más anticuado. Este problema es eliminado con el uso de los satélites de comunicación.

6. El servicio que dan los satélites con sus características de gran ancho de banda así como la posibilidad de llegar prácticamente a cualquier lugar aunado a la competencia por parte de las alternativas de tipo terrestre, han conducido a la necesidad de investigar la posibilidad para los sistemas de satélite de servir tanto a nuevos mercados, como a mercados poco explotados o a sistemas de comunicación que no se habían utilizado. Esto ha dado como resultado el surgimiento de enlaces especializados de televisión por satélite para dar como resultado los sistemas de televisión por cable.

Como puede apreciarse, existen razones suficientes en muchos casos que justifican plenamente el uso de satélites de comunicación, por lo tanto podemos responder a la pregunta formulada al principio de este capítulo con una o mas de las razones enumeradas anteriormente lo cuál significa escoger, en esos casos un sistema de comunicación con mayores ventajas que las demás opciones.

SISTEMAS DE COMUNICACION POR SATELITE

PARAMETROS DE RANGO PARA COMUNICACION

En esta sección se describe el área de la tierra que puede ser cubierta por un satélite de comunicación, lo cuál será un factor básico para decidir el área y tiempo de comunicación. En la figura 7.1 se muestra la posición de un satélite y la tierra.

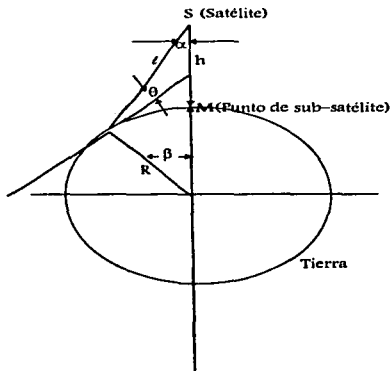


Figura 7.1 posición del satélite y la Tierra

La superficie cubierta por un satélite está en función de la altura del satélite y del ángulo mínimo de elevación de antena de una estación terrena, lo cual se da en la siguiente ecuación:

$$\frac{R}{R+h} = \frac{\cos(\beta+\theta)}{\cos \theta} \quad (7.1)$$

En la ecuación anterior, R es el radio de la tierra, h la altura a la que se encuentra el satélite, θ el ángulo mínimo de elevación de una antena, y β el ángulo central del círculo de la superficie cubierta.

La figura 7.2 muestra la relación entre el ángulo central de la superficie cubierta y la altura del satélite en caso de que los ángulos mínimos de una elevación de antena de una estación terrena son 0° y 5° , respectivamente. El valor de θ se fija en 5° a fin de que la comunicación comercial internacional no tenga el aumento de antena y que no haya la influencia del desvanecimiento.

Es decir, fijándose el valor de θ , cuanto mayor sea h tanto más amplia será la superficie cubierta. Pero si h es mayor, consecuentemente ℓ en la figura 7.1 también será mayor, por lo tanto, el tiempo de propagación de la onda radioeléctrica se hace tan grande que no puede ser descuidado este aspecto.

El tiempo máximo de retardo de transmisión se indica mediante la siguiente ecuación:

$$T_{\text{máx}} = \frac{2\ell}{C} = \frac{2(R+H)}{C} \frac{\sin \beta}{\cos \theta} \quad 7.2$$

Donde, C es la velocidad de la luz (3×10^8 m/s). En la figura 7.2 el valor de $T_{\text{máx}}$ se muestra junto con el valor de α

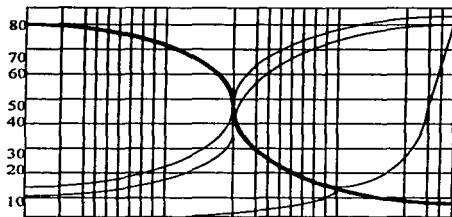


Figura 7.2 Altura de satélite, alcance y tiempo de transmisión en relación al ángulo de elevación.

En la figura 7.3 se muestra una expansión circular desde dos estaciones terrenas A y B en la que puede verse un satélite en una altura fija. Los dos círculos corresponden al ángulo central de la superficie cubierta por β en las dos estaciones terrenas. Cuando el punto M del subsatélite en la figura 7.1 pasa por el área común, que se indica con líneas diagonales de las dos estaciones A y B indicadas en la figura 7.3, se puede ver un satélite desde las dos estaciones y pueden comunicarse entre ellas.

Esta área común se llama zona visible mutual, y es muy importante para determinar el tiempo comunicable de un satélite móvil.

Ahora bien para poder entender la comunicación mundial vía satélite se necesitan describir los tres importantes sistemas de comunicación vía satélite que a continuación se abordan.

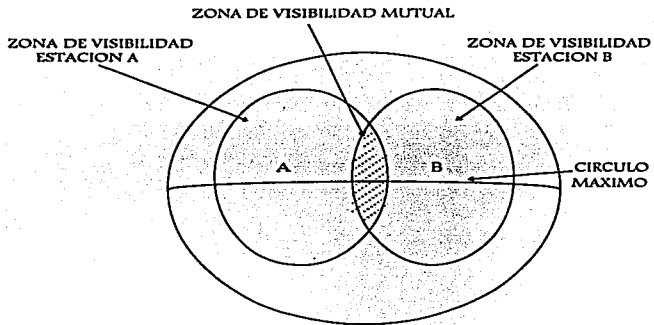


Figura 7.3 Zonas de visibilidad

SISTEMA DE SATELITE ALEATORIO

El sistema de satélite aleatorio consiste en lanzar muchos satélites en órbitas diferentes que van desde un miles de km. a 10.000 km. de altura sobre la tierra, y después se rastrea un satélite que se pueda observar desde dos estaciones terrenas, cambiando por tal rastreo dos antenas giratorias consecutivamente. Este sistema implica inevitablemente interrupción en la comunicación con una probabilidad aceptable muy baja por lo que se le denomina sistema de satélite incontrolable. En caso de la comunicación de 1 salto, si la probabilidad de interrupción de comunicación mediante un satélite es (1-f), la probabilidad de interrupción mediante N satélites será (1-f)ⁿ.

Por eso, siendo (y) la proporción de tiempo de interrupción total contra el tiempo total de comunicación mediante N satélites, N se obtiene mediante la siguiente relación.

$$N = \frac{\log i}{\log(1 - f)} \quad 7.3$$

Por ejemplo, en el caso del sistema del satélite incontrolable en una órbita de 10.000 km de altura, el valor de N para asegurar un 99% de comunicación es igual a 32 para el circuito entre Tokio y San Francisco, 26 para el de Nueva York y París y 19 entre Nueva York y San Francisco.

A medida que se mantenga la regularidad en una órbita, la interrupción es más corta y más uniforme. Sin embargo, no hay probabilidad de adoptar este sistema como la comunicación internacional debido al alto costo de la construcción y la baja eficiencia de su operación.

Este sistema fue propuesto en la etapa inicial de la comunicación por satélite, ya que la fabricación y el lanzamiento eran comparativamente fáciles. Respecto al sistema de satélite móvil, cuando la distancia de una estación terrena al segundo satélite es diferente, esto implica un corte de la comunicación en el momento en el que se efectúa la conmutación del primero al segundo.

Si la diferencia de tiempo está dentro de 20ms, la telefonía no se ve afectado un sistema de señal (CCITT No 5 o No 6) u operación de TASI. respecto a la telegrafía, se producen distorsiones en elementos de señal. En cuanto a la comunicación de fase, se produce una fuerte interferencia como la discontinuidad de fase. Por lo tanto, la conmutación debe efectuarse en el momento en que ambos satélites se encuentren a una misma distancia, y también es necesario tomar cierta medida para evitar la interrupción.

Sin embargo, en la práctica, esto no será tan importante mientras que la conmutación no sea tan frecuente como en el sistema de comunicación vía satélite descrito a continuación.

SISTEMA DE SATELITE POR FASE

Existen muchos sistemas que se han utilizado en el sistema de satélite por fase, tales como el de una órbita ecuatorial, una órbita inclinada de 30°, una órbita polar, una órbita combinada, etc. La comunicación se realiza cambiando los satélites en sección de uno a otro simultáneamente por medio de las dos estaciones terrenas.

Por esta razón, se le clasifica como un sistema de satélite controlado, incluso el sistema de satélite geostacionario se encuentra dentro de esta misma clasificación. Generalmente el sistema de órbita ecuatorial es el más adecuado en la comunicación entre el Sur y el Norte, y un sistema de órbita polar lo es entre el Este y el Oeste debido a que estos sistemas pueden operarse con pocos satélites de comunicación

SISTEMA DE SATELITE GEOESTACIONARIO

Un satélite lanzado hacia el Este a 35.600 km de altura sobre el ecuador, presenta una condición estacionaria para la tierra en un punto de $T = 24\text{hr}$ y $P = \infty$. Por eso, un satélite geostacionario hace posible una comunicación fija usando un solo equipo de antena.

Como puede verse en la figura 7.4 un sistema de comunicación mundial puede establecerse colocando apropiadamente 3 satélites de gran capacidad de acuerdo a las estaciones actuales, porque el ángulo del satélite que cubre la tierra es de unos $17,30^\circ$ y el radio del círculo de la superficie cubierta es de unos 76° (para un ángulo de elevación de más de 5°).

A este se le denomina sistema de comunicación por satélite geostacionario, y es superior en el aspecto de la economía y operación para el método de la comunicación mundial con la excepción del problema del tiempo de retardo que es de aproximadamente 0.6 segundos en telefonía, esto en el caso de que la comunicación de un salto dentro de la superficie cubierta por el satélite.

Por lo tanto, últimamente, el sistema de comunicación por satélite comercial mundial se ha establecido por este sistema en una forma de acceso múltiple. Pero, este sistema de satélite en el caso de la comunicación con dos saltos no es útil para telefonía porque se introduce un retardo en la respuesta de más de 1,0 segundos.

Esto implica la necesidad de comunicarse empleando otros sistemas (sistema de cable submarino o de microondas terrestre)

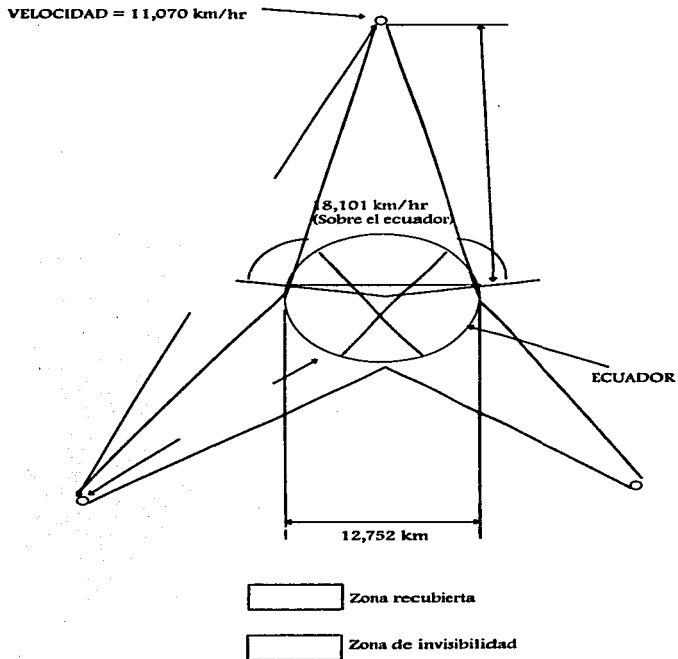


Figura 7.4 Diagrama de localización de satélites geostacionarios

CONFIGURACION DE CIRCUITOS VIA SATELITE

CIRCUITO HIPOTETICO DE REFERENCIA

El CCIR (International Radio Consultative Comitee) ha recomendado un circuito hipotético de referencia de los sistemas activos de comunicación vía satélite con el objeto de ofrecer la guía a los diseñadores de equipos y de sistemas para usar en la red actual de telefonía y de televisión.

Como se estipula en sus recomendaciones (REC352-1), un circuito hipotético de referencia consiste en un satélite, una estación terrena transmisora, y una estación terrena receptora como se muestra en la figura 7.5

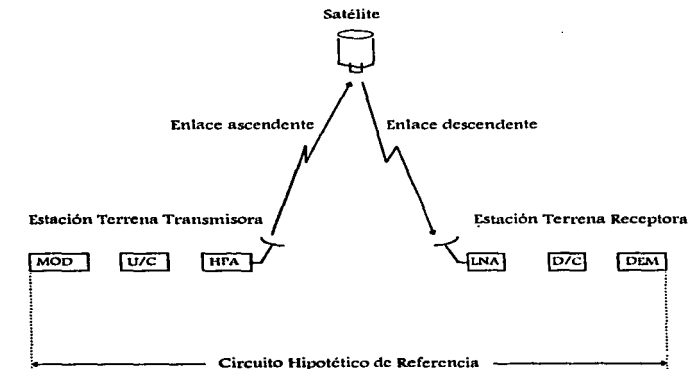


Figura 7.5 Circuito Hipotético de Referencia

Cada estación terrena tiene un par de equipos de modulación y demodulación para translación de la banda base hasta la portadora de radio-frecuencia, y de la portadora de radio-frecuencia hasta la banda base, respectivamente. Además un circuito hipotético de referencia se divide en dos partes:

Uno se denomina enlace ascendente (up-link), y el otro, enlace descendente (down-link). Un enlace ascendente incluye una trayectoria de una estación terrena transmisora hasta un satélite y un enlace descendente incluye una trayectoria de un satélite hasta una estación terrena receptora.

En el sistema IS-IV (INTELSAT-IV), las frecuencias del enlace ascendente se encuentran entre 5924 Mhz y 6425 Mhz, y las del enlace descendente están entre 3700 Mhz y 4200 Mhz igual que en el sistema IS-III (INTELSAT-III).

Todos los satélites INTELSAT de IS a IS-IV son los satélites de la traslación de frecuencia que tienen la función de amplificación y traslación de frecuencia. En el futuro se producirán satélites de comunicación que tienen también la función de conmutación.

ENLACES RADIO-ELECTRICOS POR SATELITE

Los circuitos hipotéticos de referencia se componen de los enlaces radio-eléctricos por satélite. La composición de sus enlaces se encuentra ilustrada en la figura 7.6 y los términos técnicos se definen como siguen.

(1) Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)

Es el método de combinar en el repetidor del satélite de comunicaciones INTELSAT las señales de radio recibidas de cada estación terrena.

(2) Segmento espacial.

El segmento espacial lo constituyen los satélites de telecomunicaciones y las instalaciones de seguimiento, control, telemando, monitoreo y demás equipos afines que se requieren para apoyar la explotación de los satélites de telecomunicaciones. Sin embargo en este trabajo, el "Segmento espacial" se refiere solamente a un satélite y a sus respectivos trayectos de transmisión RF hacia estaciones terrenas.

(3) Enlace RF.

El enlace RF es el que se extiende de la salida del convertidor ascendente de la estación terrena transmisora hasta la entrada del convertidor descendente de una o varias estaciones terrenas receptoras.

(4) Enlace IF

Para las transmisiones multiplexadas por división de frecuencia y moduladas en frecuencia (FDM/FM) de telefonía y las de FM de vídeo, el enlace de IF se extiende de la salida del modulador en la estación terrena transmisora hasta la entrada del demodulador de una o varias estaciones receptoras.

(5) Enlace por satélite

Para las transmisiones de vídeo y telefonía, el enlace por satélite se extiende desde la entrada de la banda base del equipo de radio en la estación terrena transmisora hasta la

salida de la banda base del equipo de radio de la estación terrena receptora.

(6) Banda base

El término "banda base" incluye la banda de frecuencia de 0 Hz a f_{top} , en la que f_{top} es la frecuencia de modulación más alta para la portadora que se utiliza.

Los enlaces radio-eléctricos por satélite se extienden a través de los sistemas de microondas y los de línea coaxial a los centros internacionales (ITMC: para telefonía, ITC: para televisión)

Todas las transmisiones internacionales entre ITCM se componen de los enlaces de supergrupo, enlaces de grupo y enlaces vocales, como se puede apreciar en la figura 7.7

El CCIR recomienda que la potencia de ruido admisible al punto cero del nivel relativo en cualquier canal telefónico sobre el circuito hipotético de referencia del enlace de satélite no exceda de los siguientes valores:

- (1) Potencia de ruido de promedio de 1 (una) hora no debe exceder de 10.000 μ W (valor ponderado).
- (2) Potencia de ruido de promedio de 1 (un) minuto no debe exceder de 10.000 μ W (valor ponderado) en un lapso no mayor de un 20% de cualquier día.
- (3) Potencia de ruido de promedio de 1 (un) minuto no debe exceder de 50.000 μ W (valor ponderado) en un lapso no mayor de 0.3% de cualquier mes.

- (4) La potencia de ruido de 5ms del tiempo integral no debe exceder de 1000.000 μ W (no ponderado) en un lapso no mayor de 0.03% de cualquier mes.

VIII CONCLUSIONES

Las transmisiones vía satélite tienen una importancia vital en la vida actual, las comunicaciones telefónicas internacionales, así como una buena parte de las transmisiones de televisión se realizan mediante esta técnica.

Otras áreas, que aunque quizá sean menos evidentes no por ello resultan menos importantes son: la transmisión de datos, videoconferencias y localización móvil.

Las transmisiones vía satélite presentan grandes ventajas sobre otros métodos por lo que en muchos casos está perfectamente justificado su uso.

Los satélites de comunicaciones actuales presentan una gran capacidad de recepción y retransmisión lo que permite que las comunicaciones mediante este método sean mucho mejores y mas eficientes

La transmisión vía satélite presenta la posibilidad de manejar transmisiones tanto de tipo digital como analógico.

Los sistemas de televisión por cable están siendo sustituidos paulatinamente por el sistema de radiodifusión directa por satélite ,el cuál presenta una mayor calidad y mayores ventajas que aquellos, con lo que el cliente tiene un mejor servicio en este aspecto

Podemos afirmar que una gran parte del desarrollo de los pueblos de la tierra se debe a que existen las comunicaciones vía satélite, en realidad sin ellas no podría concebirse el mundo como lo conocemos.

BIBLIOGRAFIA

-D.I. Dalgleish
An Introduction to Satellite Communications.

-Timothy Pratt, Charles W. Bostian
Satellite Communications.

-Armando Rattia, Juan Y. Mares
Modulación Digital.

-Mischa Schwartz
Transmisión de Información Modulación y Ruido.

-Rodolfo Neri Vela
Satélites de Comunicaciones.

Marall and Bousquet
Satellite Communications Systems.

-K. Feher
Digital Communications.

-V.K. Bhargava
Digital Communications by Satellite.

K. Miya.
Satellite Communications Technology