



28
27

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

COMUNICACIONES. SATELITES: METODOS DE TRANSMISION DE DATOS

TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
FERNANDO NUÑEZ MATA

ASESOR: ING. JUAN GONZALEZ VEGA

Cuautitlan Izcalli

1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

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



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

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

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

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

Comunicaciones. Satélites;
Métodos de Transmisión de Datos

que presenta el pasante: Fernando Núñez Mata
con número de cuenta: 8022418-3 para obtener el Título de:
Ingeniero Mecánico Electricista

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

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, a 11 de Marzo de 19 96

MODULO:	PROFESOR:	FIRMA:
<u>Primero</u>	<u>Ing. Alfonso Contreras</u>	<u>Márquez Contreras Alfonso</u>
<u>Segundo</u>	<u>Ing. Juan González Voz</u>	
<u>Cuarto</u>	<u>Ing. Joel Sánchez Pérez</u>	

DEP/VOBOSEM

A MIS PADRES:

Con respeto y afecto gracias
por su incondicional apoyo
y grandes esfuerzos
para darme la mejor herencia.

A la memoria de Oscar Mata Núñez:

Gracias querido tío
por tus consejos y afecto

A Nora y Roberto:

Gracias por compartir su hogar conmigo.

A Ricardo:

Gracias por todo hermano.

A Iratzi, Jossy y Sarahí:

Gracias por alegrar nuestras vidas.

A Candido Martínez y Sergio Calderón :

Gracias por su apreciable apoyo.

A Emilio García:

Estimado amigo, gracias por tu gran ayuda.

A mis profesores de la E.N.P. #6 y de la FES-CUAUTITLAN:

Gracias por el orgullo de ser Universitario

INDICE

INDICE	i
INTRODUCCION	iii
CAPITULO 1. COMUNICACIONES DE DATOS	1
1.1. Importancia de la Comunicación	2
1.2. Historia de las Comunicaciones	2
1.3. Descripción general de un Sistema de Comunicaciones	8
CAPITULO 2. FUNDAMENTOS DE COMUNICACION DIGITAL	11
2.1. Comunicación Analógica vs. Digital	12
2.1.1. Ventajas y desventajas de un Sistema de Comunicación Digital	12
2.2. Las Señales y su Clasificación	13
2.2.1. Definiciones Básicas	13
2.2.2. Clasificación de las Señales	17
2.2.3. Señales de Banda Base y Moduladas	17
2.3. El Ruido en los Sistemas de Comunicación	19
2.4. Formateado y Codificación	19
2.4.1. Formateado de Información Textual	20
2.4.2. Formateado de Información Analógica	22
2.4.3. Codificación	26
CAPITULO 3. CANALES DE TRANSMISION	28
3.1. Par de Alambres	29
3.2. Cable Coaxial	29
3.3. Guía de Onda	30
3.4. Sistemas de Fibra Optica	30
3.5. Radiotelefonía de Alta Frecuencia	31
3.6. Microondas	31
3.7. Sistemas de Enlace por Satélites	33
3.8. Sistemas de Radio Celular	34
CAPITULO 4. MODULACION	35
4.1. Técnicas de Modulación Básicas	36
4.2. Otras Técnicas de Modulación Importantes	37
4.3. Técnicas de Multiplexaje	37

4.3.1. Multiplexaje por División de Frecuencia (FDM)	38
4.3.2. Modulación Digital y Modulación por Pulsos Codificados (PCM)	38
4.3.3. Multiplexaje por División de Tiempo (TDM)	39
CAPITULO 5. COMUNICACIONES VIA SATELITE	43
5.1. Breve Historia de los Satélites	45
5.2. Tecnología Básica de los Satélites	47
5.2.1. Descripción y Características de un Sistema Satelital	48
5.2.2. Configuración de la Estación Terrena	55
5.2.3. Características de los Sistema Morelos y Solidaridad	56
5.3. Sistemas de Acceso Múltiple	57
5.3.1. Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA)	59
5.3.2. Acceso Múltiple de Asignación por Demanda (DAMA)	62
5.3.3. Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA)	63
CONCLUSIONES	66
GLOSARIO	68
BIBLIOGRAFIA	71

INTRODUCCION

Desde que el hombre vino al mundo en su forma social más primitiva, surge la necesidad de expresar sus ideas y sentimientos, primero con señas, más tarde con signos y finalmente con sonidos y palabras. Al transcurrir de los años, nuestro anhelo de comunicación va creciendo sin límites a la par que nuestra curiosidad por el infinito, las estrellas y los planetas.

Es así que la humanidad empieza a desarrollar la ciencia y la tecnología para satisfacer sus ansias de comunicación y realizar sueños tales como viajar a la Luna, iniciar la navegación interplanetaria e incluso enviar mensajes de paz más allá de las fronteras del sistema solar.

En este contexto, la comunicación de información de cualquier tipo a través de señales binarias —los unos y ceros usados por las computadoras— tiene un importante lugar en la sociedad mundial. La información enviada mediante el uso de comunicaciones de datos, controla una gran parte de la red telefónica de larga distancia, permite la autorización rápida de compras a crédito y cambio de cheques a efectivo, y provee inventarios y pedidos de productos en almacenes de toda clase; la tecnología de comunicación de datos permite la impresión simultánea de revistas nacionales y periódicos (en ciudades distantes), cuyo texto e imágenes son transmitidos desde una central hasta el lugar en que las publicaciones serán impresas, etc.

Gran parte del proceso de transmisión de datos es posible gracias al desarrollo de satélites artificiales, asombrosos artefactos espaciales que han ayudado a la humanidad a ampliar el conocimiento de tantos fenómenos relacionados con nuestro planeta. De igual modo, al incorporar dichos ingenios electrónicos a las telecomunicaciones, se han vencido la distancia y el tiempo; los satélites de comunicación se utilizan regularmente en la radiodifusión sonora, la transmisión de datos, la prensa escrita, la televisión, la telefonía, la navegación aérea y en un sinnúmero de disciplinas dentro de la actividad del hombre contemporáneo.

En nuestro país, continuamente se ve rebasada la capacidad de servicio de sus sistemas de comunicación. Por ejemplo, la Red Federal de Microondas y la red de Teléfonos de México se encuentran ya muy cerca de la saturación, por lo que es necesario incrementar su capacidad a fin de extender y mejorar la prestación de los servicios de telecomunicaciones en los ámbitos rural y urbano. Sin embargo, las cordilleras que surcan nuestro territorio, representan un obstáculo difícil de superar por la transmisión de señales electromagnéticas o por una red de microondas. Ante esta perspectiva, México decidió contar con un sistema nacional de satélites: primero el sistema Morelos y más tarde el Solidaridad.

CAPITULO 1
COMUNICACIONES DE DATOS

CAPITULO 1. COMUNICACIONES DE DATOS

1.1. Importancia de la Comunicación

La comunicación de datos es el proceso de transmitir la información en forma binaria entre 2 ó más puntos. La comunicación de datos es conocida también como comunicación por computadora, dado que la mayor parte de información es intercambiada entre computadoras, o computadoras y sus terminales, impresoras o bien otros dispositivos periféricos.

Es importante entender la comunicación de datos por su significancia en el mundo actual. La comunicación de datos es usada con frecuencia en los negocios, y está siendo utilizada cada vez más en casa. Ya sea la transmisión de información de cuentas bancarias, ya sea la selección de un programa de televisión por cable (PPV), la comunicación de datos está convirtiéndose en parte integral de nuestra actividad diaria.

1.2. Historia de las Comunicaciones

El descubrimiento de la electricidad introdujo muchas posibilidades para los códigos de comunicación más allá de las señales de humo, reflejos de luz solar con espejos, banderas de señalización y linternas usados en los siglos XVIII y XIX. Una de las primeras propuestas, expuesta en una revista escocesa en 1753, fue simple pero con profundas implicaciones para el hardware. La idea era montar 26 alambres paralelos de pueblo a pueblo, un alambre por cada letra del alfabeto. Un inventor suizo construyó un sistema prototipo basado en este principio, pero la tecnología de fabricación de cables en ese tiempo eliminó tal posibilidad.

En 1833, C.F. Gauss, usó un código basado en una matriz 5x5 de 25 letras para enviar mensajes mediante la deflexión de una aguja, desde una a cinco veces, de derecha a izquierda. El primer juego de deflexiones indicaba el renglón y el segundo, la columna, identificando así la letra colocada en dicha posición de la matriz.

El Telégrafo

El siguiente desarrollo notable en comunicación de datos, ocurre en el siglo XIX cuando Samuel F.B. Morse inventó el telégrafo eléctrico, fig. 1.1. Cuando una tecla del telégrafo es presionada en la estación A, la corriente fluye a través del sistema y la armadura de la estación B es atraída hacia la bobina, produciendo un click al golpear un tope. Cuando la tecla es liberada, el circuito eléctrico se abre y la armadura es forzada por un resorte a su posición abierta golpeando otro tope con un click ligeramente diferente. Entonces el sono-

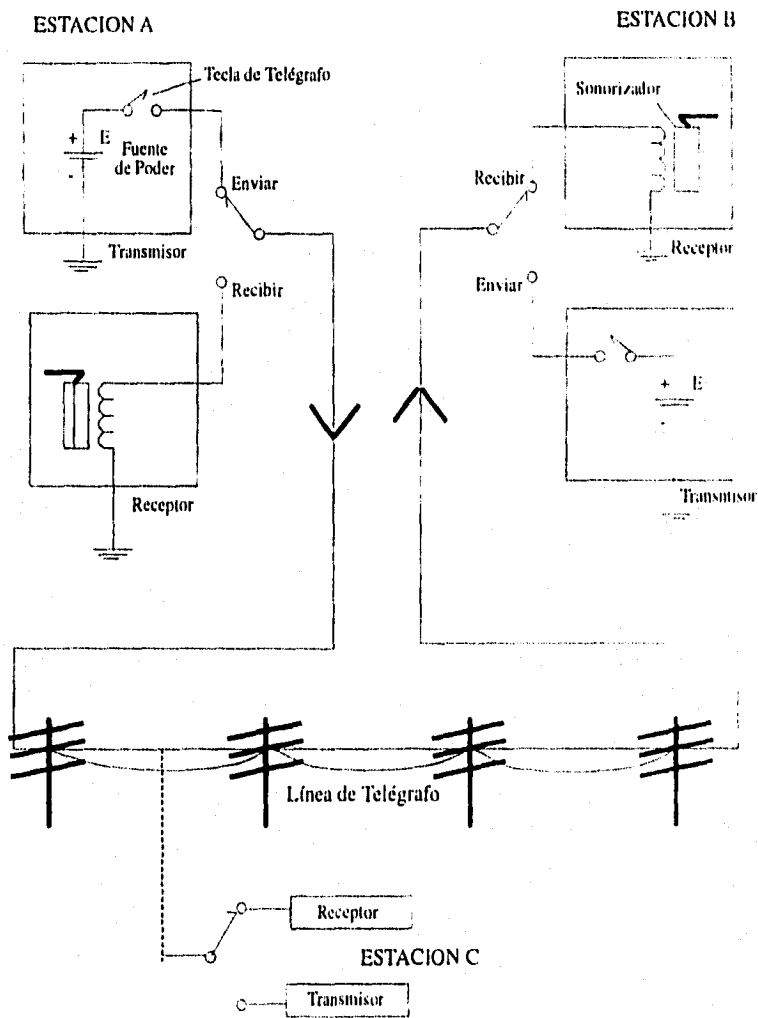


Figura. 1.1. Sistema de Telégrafo Básico

rizador del telégrafo tiene dos clicks distintos. Si el tiempo entre clicks sucesivos es corto representa un punto, si es largo, una raya (o guión). Morse desarrolló un código para representar caracteres mediante series de puntos y rayas. El operador transmisor convierte los caracteres de las palabras del mensaje en una serie de puntos y rayas. El operador receptor interpreta los puntos y rayas como caracteres.

Dado que el correo con ponis era el medio de comunicación típico antes del telégrafo, éste se convirtió rápidamente en un éxito gracias a su mayor velocidad. Para cuando el teléfono fue inventado, 30 años más tarde, la industria del telégrafo era grande y próspera, con muchas compañías dando servicio a casi cada ciudad y pueblo de los Estados Unidos de América. En 1866 el telégrafo conectó a las naciones del mundo con el cable Transatlántico entre Estados Unidos de América y Francia.

Sistemas de comunicación de dos estados

La importancia del telégrafo, no sólo es histórica, además ilustra la simplicidad de un sistema de comunicación de datos. Mucha de la terminología desarrollada sobre el sistema Morse permanece en uso actualmente. Por ejemplo, consideremos los términos marca (mark) y espacio (space). Si un dispositivo fuera arreglado de modo que el papel se moviera continuamente bajo una pluma unida a la armadura del sonorizador del telégrafo, una marca sería hecha en el papel cuando la armadura fuera atraída a la bobina. Así podríamos referirnos al estado de flujo de corriente en la línea como el estado de marca, y al estado de no flujo de corriente como el estado de espacio. Las normas alrededor del mundo de comunicación de datos, aún utilizan estos términos, con la condición canal de transmisión desocupado conocida como la condición de marca.

El alambre, canal del telégrafo, entre los operadores, por tanto, está en uno de dos estados: flujo o no flujo de corriente. Esta idea ha sido repetida una y otra vez en el desarrollo de los sistemas de comunicación de datos. Un sistema de comunicación de dos-estados es el más simple, el más fácil de construir y el más confiable. Los dos estados pueden ser On (encendido) y Off (apagado), como en el telégrafo, + (positivo) y - (negativo) con flujo de corrientes en direcciones opuestas, luz y oscuridad (tal como prender y apagar una luz flash), 1 y 0 (concepto usado en computadoras) o cualquier otro diseño con sólo dos posibles valores. Un sistema de 2 estados ó 2 valores es conocido como **sistema binario**.

Bits y Bytes

El 0 y el 1 son los símbolos de un sistema binario. Un dígito binario se conoce comúnmente como un **Bit**. Los cambios individuales en datos binarios son llamados bits y cada bit tiene asignado un valor de 0 ó 1.

El sistema binario usa notación posicional, al igual que el sistema decimal, excepto que cada posición tiene únicamente 2 posibles valores, en vez de 10. Por ejemplo, el número

345.27 en decimal significa 3 centenas más 4 decenas más 5 unidades más 2 décimos más 7 centésimos. El peso de cada posición es una potencia de 10, entonces:

$$345.27 = (3 \times 100) + (4 \times 10) + (5 \times 1) + (2 \times 0.1) + (7 \times 0.01) \\ = 3 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 7 \times 10^{-2}$$

En el sistema decimal la base es 10 y el peso de cada posición de dígito es una potencia de 10. Similarmente, podemos definir potencias de 2 en un sistema posicional binario, en el cual el peso de cada posición es 2 veces el peso de la posición inmediata a la derecha. Si usamos la tabla 1.1, potencias de 2 (hasta 2^8) podemos fácilmente convertir un número binario a su equivalente decimal, por ejemplo:

$$1101001 = 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\ = 1 \times 64 + 1 \times 32 + 0 \times 16 + 1 \times 8 + 0 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1 = 105_{\text{decimal}}$$

2^0 1

2^1 2

2^2 4

2^3 8

2^4 16

2^5 32

2^6 64

2^7 128

2^8 256

TABLA 1.1. Potencias de 2

Las computadoras son más eficientes si sus registros y canales internos tienen una longitud (o tamaño) de alguna potencia de 2 (2 bits, 4 bits, 8 bits, etc.). Un agrupamiento de 8 bits es comúnmente usado y se le conoce como **Byte** o un octeto. Con un byte se pueden representar 2^8 ó 256 secuencias de unos y ceros.

Códigos de Comunicación

Una característica común de los sistemas de comunicación de datos es el uso de un dispositivo inteligente para convertir un carácter o símbolo en una forma codificada o viceversa. El uso de códigos binarios estandarizados y simplificados permitió la codificación y decodificación de la información por medios eléctricos o mecánicos e hizo posible la automatización de la comunicación de datos.

Un código es un juego de significados previamente acordados que definen un grupo de símbolos y caracteres dados. Los caracteres son letras, signos, números y símbolos en un teclado de algún dispositivo de entrada, algunos de ellos son usados para controlar el sistema. Los elementos de señalización son la representación de los caracteres que son transmitidos sobre las líneas de transmisión. Es más fácil diseñar y construir máquinas para reconocer elementos de señalización que construirlas para reconocer caracteres. Los puntos y rayas del código Morse son elementos de señalización tal como los ceros y unos del código binario.

En los inicios del siglo XX, cuando se presentó interés en reemplazar los operadores humanos de telégrafo por máquinas, empiezan a existir algunos códigos. El más prominente había sido inventado en 1870 por un francés llamado Emile Baudot. Este código utilizaba el mismo número de elementos para representar cada carácter, sin embargo, estaba limitado a cinco elementos por problemas en los dispositivos electromecánicos. Hubo entonces la necesidad de nuevos códigos que pudieran representar caracteres, checar errores y dejar espacio para una posterior expansión. Durante los años 60, se desarrollaron varios códigos de transmisión de datos. Muchos de ellos desaparecieron, dejando 3 códigos predominantes: un código de 5 bits aún utilizado para transmisión por telex; el Extended Binary-Coded-Decimal Interchange Code (EBCDIC pronunciado ebsedic) desarrollado por IBM y usado principalmente para comunicación en sistemas conectados a una computadora principal, y el American Standard Code for Information Interchange ASCII (pronunciado askey) definido por el American National Standards Institute (ANSI) en los Estados Unidos de América y la International Organization for Standardization (ISO) en el resto del mundo.

El Teletipo

El siguiente paso importante en la comunicación de datos, después del telégrafo, fue el teletipo. A mediados de los 70's, el teletipo era la terminal estándar para computadoras de tamaño pequeño y medio. Muchas compañías tienen redes de teletipos a pesar de que las máquinas de fax y el correo electrónico basado en computadoras han reducido su uso significativamente.

Al igual que el telégrafo, los teletipos son importantes, no sólo porque fueron el principal medio de comunicación de datos por casi 50 años, sino también porque la mayoría de los

estándares y la terminología para baja velocidad o comunicación de datos asíncrona surgió del mundo de los teletipos. Esto es, la transmisión de cada carácter codificado empieza con un símbolo de inicio (**start**) y termina con un símbolo de alto o parada (**stop**).

Los equipos de teletipo estaban limitados a velocidades de transmisión bajas dado que eran electromecánicos: los solenoides tenían que ser energizados para atraer las armaduras, los motores tenían que arrancar, girar y parar; los embragues tenían que embragar y desembragar. Todas estas operaciones mecánicas limitaron la velocidad máxima, con la cual los teletipos podían operar confiablemente, a algunos 30 caracteres por segundo.

Comunicación de datos en la computación

La introducción de computadoras electrónicas hacia 1950 permitió almacenar grandes cantidades de información y procesarlas rápidamente. A la vez que el uso de las computadoras era mayor, fue necesaria la comunicación entre ellas.

1950

El sistema de computador de los 50's usaba tarjetas perforadas como entrada, impresoras como salida y rollos de cinta magnética como almacenamiento permanente. La comunicación de datos era poca o nula ya que los dispositivos de entrada y salida, así como la computadora estaban situados todos juntos y conectados directamente por cables cortos. La información era procesada sobre la base de "un trabajo a la vez" o por "paquetes".

1960

En los años 60, el proceso de paquetes (batch) fue reemplazado por el proceso en línea. El uso de terminales en línea requirió enlaces de comunicación para conexiones con la computadora central o principal.

1970

En los 70's la introducción de la minicomputadora y la microcomputadora portátil, requirió mayor comunicación con la computadora principal. Se tenían más equipos: computadoras, terminales y canales de comunicación.

1980

Los avances de la tecnología incrementaron la capacidad de las computadoras, redujeron su tamaño y requerimientos de energía, y proveyeron un nuevo enlace de comunicación: el Satélite.

1990

El crecimiento en la distribución de computadoras personales durante los 80's, estaba relacionado con el requerimiento de proveer capacidad de comunicación entre tales dispositivos. Además, muchos usos de computadoras personales requieren acceso a computadoras corporativas centrales o principales, implicando la comunicación entre diferentes tipos (marcas) de computadoras.

La clave de la capacidad de computadoras personales para funcionar como terminales multipropósito, fue el desarrollo de microprocesadores especializados y los circuitos integrados.

El hardware y el software no son los únicos que están cambiando. La industria de la computación, así como la industria de la comunicación han cambiado en formas que habrían sido inimaginables hace 20 años. El desarrollo de la minicomputadora y más tarde el microprocesador en PC's, y los controladores de equipo programables, creó una situación en la cual el poder de computación era más bien poco costoso. Con muchas más computadoras usadas por mucha más gente para crear y usar muchos más datos, el interés en la comunicación de datos aumentó.

El advenimiento de satélites seguido por la transmisión por fibra óptica, ofreció la promesa de mayores anchos de banda (rango de frecuencias utilizables), a la vez que velocidades de transmisión de datos más altas.

La llegada de las PC's basadas en microprocesadores y el incremento de la competencia entre las industrias de la computación y la comunicación, trajo dramáticos cambios y aceleró los avances tecnológicos en el campo de las comunicaciones. Asimismo logró un acercamiento entre la comunicación y la computación. En la actualidad, la mezcla de voz, video y datos en aplicaciones basadas en computador, requiere la transmisión de información en órdenes de magnitud más allá de datos basados en texto, proveyendo entonces la fuerza para el desarrollo de comunicaciones a alta velocidad.

1.3. Descripción general de un Sistema de Comunicación

Un sistema de comunicación de datos puede ser descrito, en forma sencilla, en términos de 3 componentes: el transmisor (también llamado el origen o la fuente), el medio o camino de transmisión (generalmente llamado el canal y a veces la línea), y el receptor (o destino). En comunicaciones bidireccionales, empero, el origen y el destino pueden intercambiar roles, es decir, la misma parte del sistema puede transmitir y recibir información simultáneamente.

De aquí que es más fácil pensar en un sistema de comunicación de datos, entre el punto A y el punto B, en términos del Circuito de Datos Universal de Siete Partes, fig. 1.2, conformado por:

1. El equipo terminal de datos (Data Terminal Equipment DTE) en el punto A.
2. La interfase entre el DTE y el equipo terminal de circuito de datos o equipo de comunicación de datos (Data Communication Equipment DCE).
3. El DCE en el punto A.
4. El canal de transmisión entre A y B.
5. El DCE en el punto B.
6. La interfase entre el DCE y el DTE en el punto B.
7. El DTE en el punto B.

En este circuito, el DTE puede ser un dispositivo terminal o parte de una computadora, el DCE puede ser un Modem si se usa un canal analógico o una unidad de Servicio de Datos (Data Service Unit DSU) si se usa un canal digital.

El DTE, origen o destino, o ambos, transmite y/o recibe datos utilizando el DCE y el canal de transmisión de datos. Cabe mencionar que no hay que confundir el nombre equipo terminal de datos, éste puede ser en efecto una terminal de teletipo o de CRT, pero puede también ser una PC, impresora, procesadores de computadoras principales, o cualquier otro dispositivo que pueda transmitir o recibir datos. El propósito total del sistema de comunicaciones es transmitir información útil entre A y B; la información puede ser usada directamente por el DTE, o bien, éste puede procesarla y desplegarla para ser utilizada por operadores humanos.

Forma y contenido de la información

El DCE y el canal de transmisión desempeñan la función de mover los datos desde A hasta B. En general, no saben o no les importa el contenido de la información transmitida. Esto nos conduce a un punto importante acerca de la comunicación de datos: la diferencia entre la forma y el contenido de la información transmitida. Claramente, el usuario común de comunicaciones de datos, estará más interesado en el contenido de la información y realmente no estará preocupado por la mecánica del proceso de comunicación mientras la información recibida sea correcta.

El sistema de comunicación de datos en sí, está relacionado solamente con la transmisión correcta entre A y B, de la información dada, el sistema no opera sobre el contenido de la información. Esto significa que cuando hablamos de la exactitud de la información transmitida, queremos decir únicamente que la información recibida tiene forma idéntica a la información transmitida.

Protocolo es el nombre dado a las reglas y procedimientos de hardware y software que aseguran que cualquier error de transmisión sea detectado. Esto puede ser tan simple como transmitir un bit extra de información en cada carácter para detectar errores, como en las PC's, o tan complejo como algunos sistemas usados en comunicación de datos vía satélite. El sistema de satélite envía información extra, no únicamente para permitir al receptor detectar errores de transmisión, sino también para corregir errores y hacer que el receptor parezca estar muy cerca del DTE, en vez de alrededor de 50 000 millas lejos del lugar de transmisión.

Interfase DTE-DCE

Consiste de la circuitería de entrada/salida en el DCE y en el DTE, y los conectores y cables que los unen. En muchos sistemas, esta interfase se ajusta al estándar RS-232. Esta y otras interfases del tipo serial similares a las especificaciones del RS-232 son las más comúnmente utilizadas en comunicaciones de datos. El RS-232 especifica las reglas con las cuales los datos, se mueven a través de la interfase entre el DTE y el DCE y por tanto desde A hasta B. La palabra serial significa que los bits cruzan la interfase uno a la vez, en serie.

Los DTE's no solamente tienen capacidades básicas de entrada/salida, sino que las terminales electrónicas actuales pueden desempeñar muchas funciones complejas, manejadas en software, cuya meta es asegurar mejor eficiencia y precisión de la transferencia de datos.

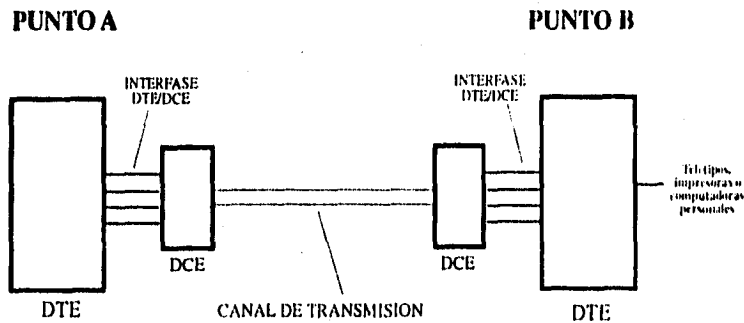


Figura 1.2. Diagrama a bloques de un Sistema de Comunicación

CAPITULO 2
FUNDAMENTOS DE COMUNICACION DIGITAL

CAPITULO 2. FUNDAMENTOS DE COMUNICACION DIGITAL

2.1 Comunicación Analógica vs. Digital

Hasta hace algunos años, la mayoría de los sistemas de comunicaciones eran de naturaleza analógica; sin embargo, la comunicación digital ha cobrado gran relevancia debido a la creciente demanda de comunicaciones de datos y al hecho de que la transmisión digital es más flexible para el procesamiento de datos que la transmisión analógica.

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

De aquí que el objetivo de un sistema de comunicación digital no es la reproducción fiel de la forma de onda transmitida, sino determinar a partir de una señal afectada a cierto grado por ruido, cual ha sido la forma de onda enviada por el transmisor.

2.1.1. Ventajas y Desventajas de un Sistema de Comunicación Digital

Ventajas

Uno de los principales hechos de los sistemas de comunicación digital es que por lo general sus componentes son de menor costo que los analógicos, pero existen otras razones, tal vez más importantes, por las que las comunicaciones de carácter militar así como comercial están basándose más y más en tecnología digital. Entre ellas tenemos:

a) **Facilidad de regeneración de las señales.**- La forma de onda de un pulso digital que es transmitido, se ve afectada por las características de transferencias de la línea de transmisión (atenuación, capacitancia e inductancia) y por ruido e interferencia externos o internos. Al igual que en la señal analógica, estos factores degradan la forma de onda del pulso; empero, dado que los circuitos digitales trabajan con dos rangos de voltaje determinados (por decir un "1" y un "0"), dicho pulso es fácilmente regenerado.

b) **Mayor confiabilidad.**- Gracias a técnicas de detección y corrección de errores, se logran tasas de error muy bajas, lo que hace posible una fidelidad de señal muy alta. Algunas técnicas son : verificación de paridad, Checksum y verificación de redundancia cíclica. Las cuales no son posibles en los sistemas analógicos.

c) **Más alto desempeño.**- Mediante la implementación de filtros digitales se obtienen parámetros de atenuación, respuesta a la frecuencia y fase, muy superiores a los de filtros analógicos.

d) Simplicidad para combinar señales.- La combinación de señales digitales usando multiplexores por división de tiempo (TDM), es más sencilla que la combinación de señales analógicas con multiplexores por división de frecuencia (FDM).

e) Facilidad para la implementación de nuevas aplicaciones.- El empleo de técnicas digitales permite el desarrollo de algoritmos y métodos para asegurar la privacidad de la información mediante alguna forma de criptografía de mensajes.

f) Gran flexibilidad.- Existe la posibilidad de agrupar varios tipos de señales (datos, voz, señales de televisión, etc.) y darles un trato idéntico para su transmisión, ya que todos se representan mediante bits.

Las figuras 2.1 a 2.7 ilustran algunos de los conceptos anteriores.

Desventajas

Generalmente se requiere un mayor ancho de banda.
Se requiere sincronización del sistema.

2.2. Las Señales y su Clasificación

2.2.1 Definiciones Básicas

Frecuencia (F): Es el número de veces que se repite una onda eléctrica.

Periodo (T): Es el tiempo que transcurre desde el inicio hasta el final del ciclo de la onda eléctrica.

Valor pico (V_p): Es el valor que presenta una onda desde el origen hasta el punto máximo de la cresta.

Valor pico a pico (V_{pp}): Es el valor medido desde la cresta positiva hasta la cresta negativa, o viceversa.

Valor eficaz o RMS = $V_p/\sqrt{2}$

Relación entre frecuencia y periodo: $F = 1/T$

Unidades Eléctricas Básicas

Voltaje - Volts (V)	Corriente -Amperes (A)
milivolts (mV)	milliamperes (mA)
kilovolts (kV)	kiloamperes (KA)
megavolts(MV)	
Frecuencia-Hertz (Hz)	Potencia- Watts (W)
kilohertz (KHz)	milliwatts (mW)
megahertz (MHz)	kilowatts (KW)
gigahertz (GHz)	megawatts (MW)
mili= $\times 10^{-3}$ kilo= $\times 10^3$ mega= $\times 10^6$	giga= $\times 10^9$

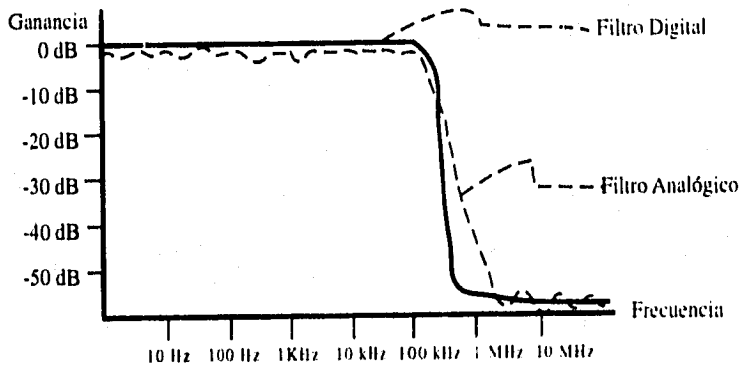


Figura 2.4. Respuesta de un Filtro Digital y un Filtro Analógico

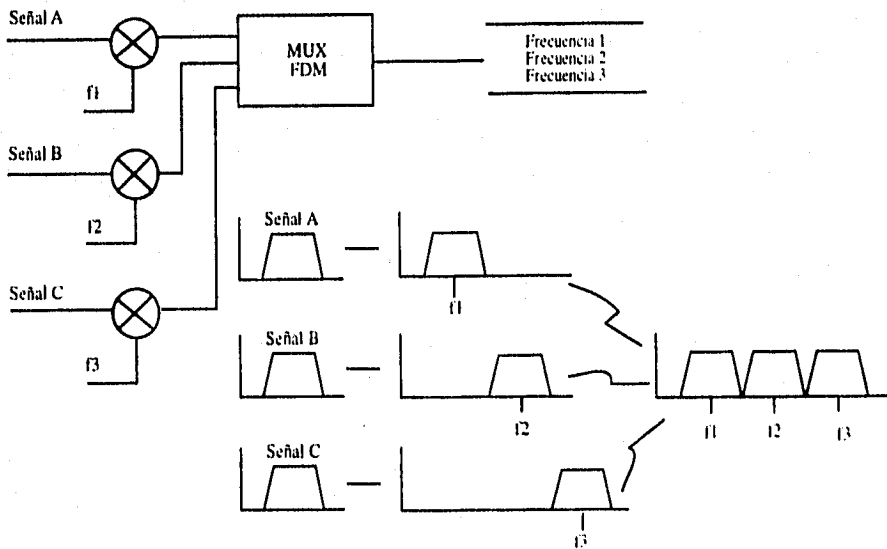


Figura 2.5. Multiplexaje por División de Frecuencia

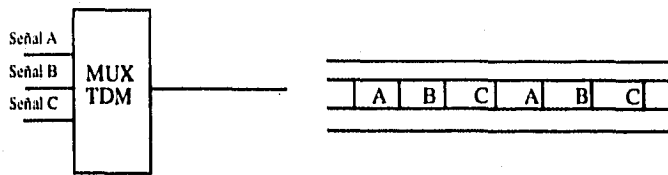


Figura 2.6. Multiplexaje por División de Tiempo

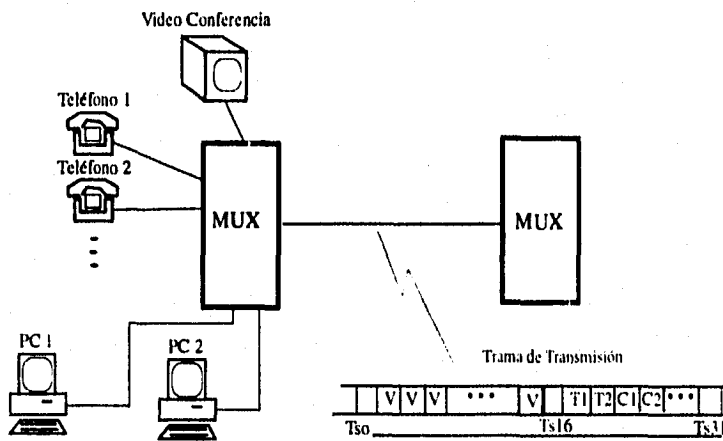


Figura 2.7. Agrupamiento de diferentes tipos de Señales

2.2.2. Clasificación de las Señales

—De acuerdo al grado de certeza con que se puede determinar su valor en cualquier instante del tiempo:

Determinísticas.- No hay incertidumbre alguna con respecto a su valor en cualquier instante.

Aleatorias.- Existe cierto grado de incertidumbre para determinar su valor antes de que en realidad suceda, no tiene uniformidad.

—De acuerdo con su comportamiento con respecto al tiempo:

Periódicas.- Cierta forma de onda que dura un periodo de tiempo determinado, se repite constantemente en forma sucesiva.

No periódicas.- No presentan una forma de onda determinada que se repita constantemente.

—De acuerdo a su continuidad en el tiempo:

Analógicas.- Varían en forma continua en el tiempo, esto es, tienen un valor definido para cualquier momento.

Discretas.- Su valor está definido solamente para determinados instantes del tiempo.

Las señales de comunicación eléctricas pueden representarse de diferentes maneras para su análisis. Las maneras más comunes son:

—En el dominio del tiempo. Se representan como formas de onda de corriente o voltaje que cambian de valor con respecto al tiempo.

—En el dominio de la frecuencia. Se representan conforme a la energía que contienen las señales en diferentes frecuencias. Esta representación se conoce también como **Espectro** de una señal y sirve para determinar el ancho de banda que dicha señal ocupa. La fig. 2.8 muestra gráficamente la clasificación de las señales y su representación.

El **ancho de banda** de un sistema es el intervalo de frecuencias a través del cual la magnitud de la respuesta permanece dentro de un rango de valores dado.

2.2.3. Señales de Banda Base y Moduladas

Las **señales de banda base** tienen un espectro que se extiende desde corriente directa (DC) hasta algún valor finito, por lo general de unos cuantos MHz, y su forma de onda es un tren de pulsos. Este tipo de señales es el que comúnmente se utiliza cuando hacemos referencia a términos como "información", "mensaje" o "datos". Para su transmisión se someten al proceso de formateado (símbolos) y modulación de banda base o de pulsos.

Características de una Señal

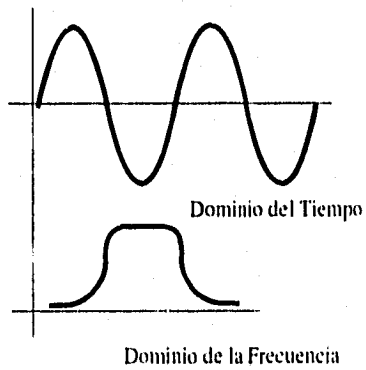
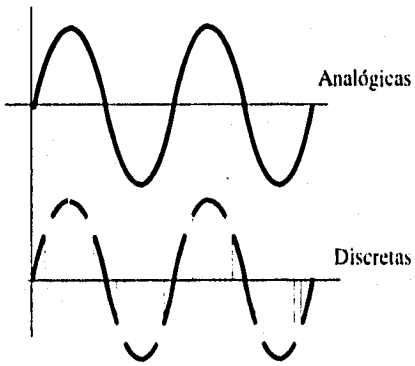
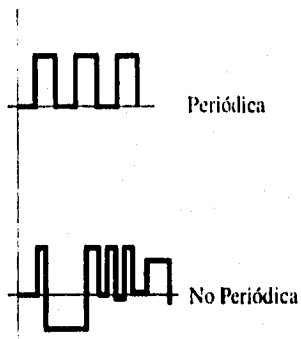
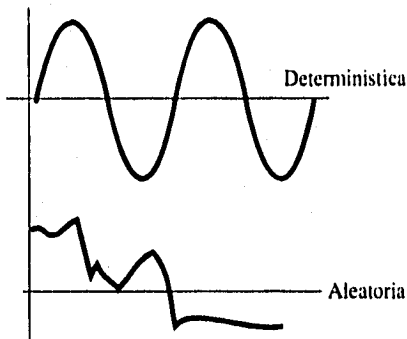
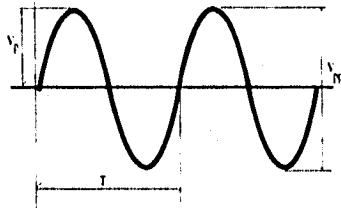


Figura 2.8. Las Señales. Clasificación y Representación

En la mayoría de los casos, las señales de banda base no son apropiadas para ser transmitidas a través de un medio de transmisión específico, por lo que se modulan y su espectro es recorrido hacia una banda de frecuencia más adecuada para su propagación en dicho medio. La frecuencia alrededor de la cual se encuentra concentrado su contenido espectral se denomina frecuencia **portadora**.

Una de las técnicas más sencillas para trasladar el espectro de una señal de banda base hacia una frecuencia más alta, utiliza el proceso de "heterodinación" que consiste en mezclar dicha señal con otra señal de tipo senoidal (la portadora) mediante un proceso multiplicativo. La forma de onda resultante es conocida como "señal modulada de doble banda lateral" o "señal de banda ancha" o DSB (double-sided-band). La fig. 2.9 ilustra la representación de las señales de banda base y banda ancha.

2.3 El ruido en los Sistemas de Comunicación

El término ruido se refiere a las señales eléctricas indeseables que se hallan presentes en cualquier sistema eléctrico. El ruido tiene varios efectos como son:

- Degradación de la calidad de las señales
- Limitar la capacidad del receptor para identificar correctamente los símbolos de información
- Limitar la velocidad de transferencia de información

Hay una gran variedad de fuentes de ruido, entre ellas tenemos:

- Fuentes de ruido producidas por el hombre: Bujías, maquinaria eléctrica, interruptores, etc.
- Fuentes de ruido naturales: Ruido térmico intrínseco de los componentes electrónicos, perturbaciones atmosféricas y ruido galáctico.

De las fuentes naturales, el ruido térmico nunca puede ser totalmente eliminado. Este ruido, también llamado ruido de Johnson, es ocasionado por el movimiento de electrones en los componentes (alambres, resistencias, etc.), al igual que los electrones son responsables de la corriente eléctrica también lo son del ruido térmico.

2.4. Formateado y Codificación

El formateado es el primer paso en el procesamiento de la señal. Permite que la señal de origen sea compatible con el procesamiento digital. Transforma la información de origen en símbolos digitales.

Entre los procedimientos de formateado más usados se encuentran:

- Codificación de caracter
- Muestreo
- Cuantificación o Cuantización
- Modulación por pulsos codificados

La fig. 2.10 muestra el diagrama a bloques de un sistema de comunicación digital para diferentes tipos de información. Podemos observar que la información que ya tiene formato digital se aplica directamente al modulador, en tanto que la información textual se transforma a dígitos binarios mediante un codificador. Por otro lado, la información analógica requiere de tres etapas de formateado:

- Muestreo
- Cuantización
- Codificación

Los dígitos binarios resultantes del formateado se modulan (y transmiten a través de un canal de banda base) para obtener una serie de pulsos compatibles con el medio de transmisión.

2.4.1. Formateado de Información Textual

Exceptuando la transmisión entre computadoras, en general la forma original de la información a transmitir es de tipo textual o analógico. Cuando se trata de texto, existen varios formatos o códigos estándar mediante los cuales el mensaje textual toma un formato digital, entre ellos tenemos: ASCII, EBCDIC y Hollerith.

En ocasiones, los códigos estándar son modificados para su utilización en ciertas aplicaciones, por ejemplo, el código ASCII de 7 bits puede ser modificado agregándole un bit para funciones de detección de error, o usar solamente 6 bits para representar 64 caracteres en lugar de 128.

Mensajes Caracteres y Símbolos

Los mensajes textuales son una secuencia de caracteres alfanuméricos y para su transmisión son codificados para obtener una secuencia de bits llamada señal de banda base. Los bits se combinan entonces en grupos para formar los símbolos que integran un alfabeto, cuyo tamaño dependerá del número de bits usado para representar cada símbolo:

$$M=2^k$$

M=Tamaño del alfabeto (numero de simbolos)

k= numero de bits usados para representar un simbolo

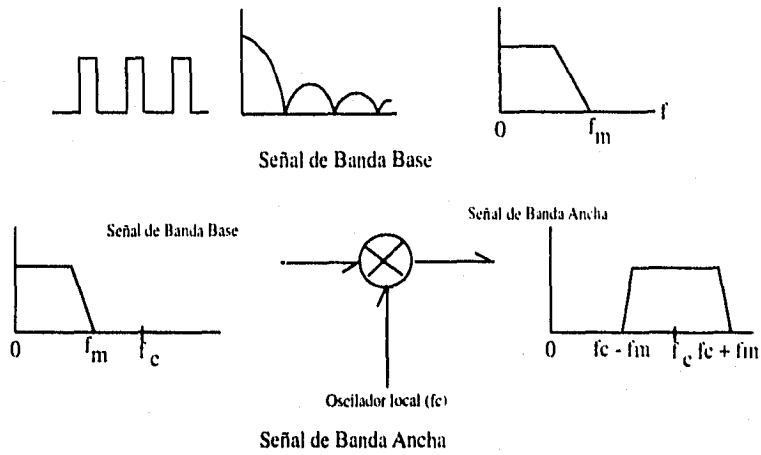


Figura 2.9. Señal de Banda Base y Banda Ancha

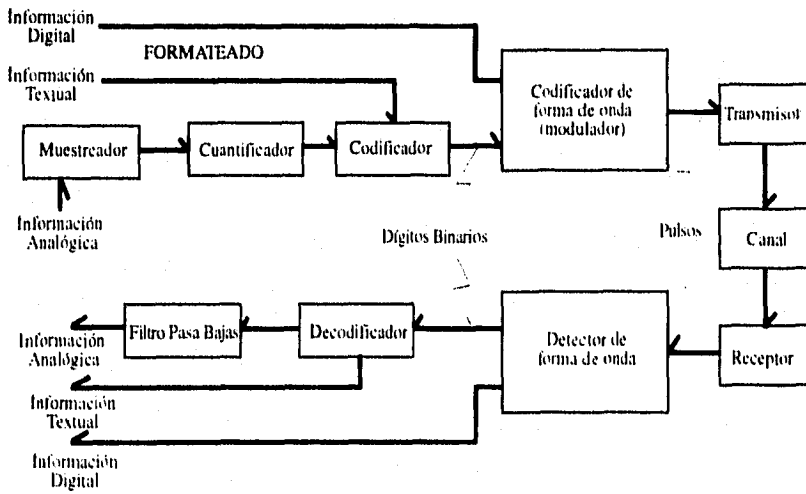


Figura 2.10. Formateado y Transmisión de Señales

A continuación se muestra un ejemplo:

Mensaje Textual	H	O	L	A
Codificación de caracter (ASCII de 6 bits)	000100	111100	001100	100000
Símbolos (Sistema octal, 1 símbolo = 3 bits)	0 4	7 4	1 4	4 0
Forma de Onda				

2.4.2. Formateado de Información Analógica

En el caso de la información analógica es claro esperar que antes de ser modificada debe ser convertida a forma digital. El primer paso para efectuar tal conversión es el muestreo de la señal analógica.

El proceso de muestreo consiste en tomar y analizar al valor de una señal (muestra) a intervalos de tiempo regulares (velocidad de muestreo). El resultado de este proceso se conoce como señal PAM (Pulse Amplitude Modulation) o modulada por amplitud de pulso. Se conforma de una secuencia de pulsos cuya amplitud es la de la señal de entrada durante el lapso de muestreo.

Un punto relevante en el muestreo es la determinación del grado de fidelidad con que la señal original puede ser reconstruida a partir del filtraje de la señal PAM. Para aclarar esto, es útil explicar el Teorema de Muestreo o Criterio de Nyquist. Una señal de ancho de banda limitado que no tenga componentes espectrales arriba de una frecuencia f_m , puede ser determinada o representada mediante muestras tomadas a intervalos de tiempo regulares a una frecuencia f_s igual o mayor a dos veces f_m .

$$f_s \geq 2f_m$$

Lo que significa que una señal analógica puede ser totalmente reconstruida a partir de un conjunto de muestras espaciadas uniformemente en el tiempo. En la práctica, la frecuencia de muestreo f_s tiene un valor mayor que $2f_m$, por ejemplo para el caso de la voz humana:

$$f_s = 8 \text{ KHz y } f_m = 3.4 \text{ KHz.}$$

Cuando la frecuencia de muestreo f_s es menor que $2f_m$ se presenta un traslapamiento de los espectros que hace imposible la regeneración fiel de la señal original. Para evitar esto, es muy común que la relación entre la frecuencia de muestreo y el ancho de banda de la señal analógica sea la siguiente:

$$f_s \geq 2.2f_m$$

La señal PAM analizada hasta este momento, tiene aún la característica propia de toda señal analógica, en el sentido de que presenta un número infinito de posibles valores, de modo que es necesario limitar el número de posibles valores. Este proceso se lleva a cabo mediante:

Muestreo y Retención.- Involucra la retención del valor muestreado de la señal analógica hasta que se efectúe la siguiente muestra.

Cuantización de los pulsos.- Consiste en dividir el rango de amplitud de la señal en un número finito de valores discretos para asignar el valor discreto más cercano a cada muestra.

La cuantización es el proceso de mapear las muestras tomadas de una señal de amplitud continua para obtener un número finito de posibles valores de amplitud. Esta función es realizada por un convertidor analógico digital (ADC o A/D).

Existen los siguientes tipos de cuantización:

- Cuantización Uniforme
- Cuantización No Uniforme
- Cuantización Polarizada

La figura 2.11 ilustra el proceso de formateado de una señal analógica.

Ruido de cuantización. También conocido como error de cuantización o aproximación, es la diferencia entre la entrada y la salida de un cuantificador; depende del valor que tenga la señal de entrada y es inversamente proporcional al número de niveles usados en el proceso de cuantización.

Relación señal a ruido (S/Nq). El máximo error posible de cuantización al realizar una aproximación será de $q/2$ ó $-q/2$, donde q es el intervalo de cuantización. Por lo que entre más niveles de cuantización se tengan, menor será el error de cuantización. Así podemos establecer la relación señal a ruido de cuantización, referida al número de niveles de cuantización, como:

$$S/Nq = 3 L^2$$

S = señal
Nq = ruido de cuantización
L = número de niveles de cuantización

Saturación. Este fenómeno ocurre cuando el valor de la señal de entrada sobrepasa el valor máximo del rango de operación lineal del convertidor. El ruido de saturación es más indeseable que el ruido de cuantización, ya que por su naturaleza sus efectos generalmente no pueden ser eliminados mediante filtraje u otros métodos.

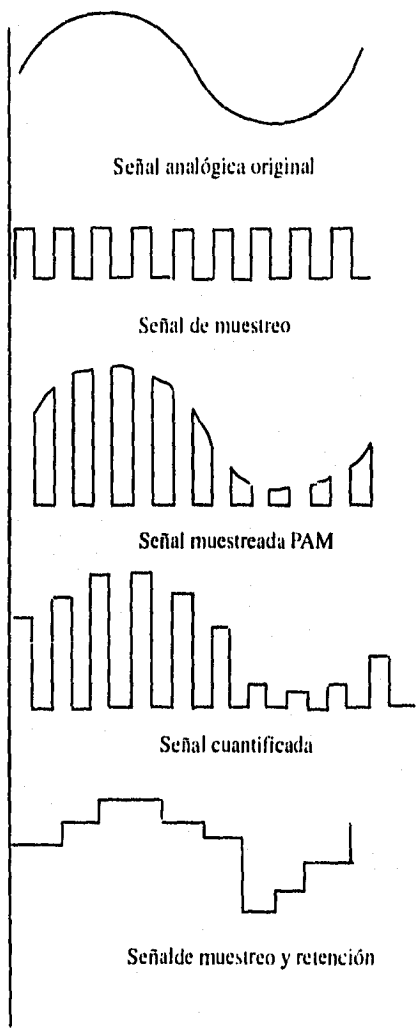


Figura 2.11 Formateado y cuantización de una señal analógica

Una señal analógica reconstruida a partir de pulsos cuantificados presentará efectos de ruido producidos o inducidos por diferentes fuentes:

- Por muestreo y cuantización
 - Ruido de Cuantización
 - Saturación
 - Jitter de muestreo
- Por el canal de transmisión
 - Ruido del canal
 - Interferencia intersimbólica (ISI)

El jitter de muestreo se refiere a que los pulsos de muestreo o los instantes en que se realiza el muestreo no están espaciados uniformemente. Sus efectos se minimizan con el mejoramiento de la calidad de las señales de reloj de referencia y el aislamiento correcto de las fuentes de alimentación.

El ruido del canal puede deberse a: ruido térmico, interferencias por fenómenos naturales, interferencias por otros usuarios y transitorios producidos por la conmutación de circuitos.

La interferencia intersimbólica es un efecto que se presenta cuando el ancho de banda del canal es igual o solamente un poco mayor al ancho de banda de la señal a transmitir.

La cuantización uniforme o lineal es la que se utiliza comúnmente en convertidores A/D y presenta características tales como su poca sensibilidad a cambios pequeños de la señal de entrada. Esto se traduce en una buena relación señal a ruido para el nivel medio de las señales de entrada y el ruido de cuantización es igual para cada nivel o intervalo de cuantización.

Sin embargo, existen ciertas aplicaciones que requieren un trato especial de las señales de entrada. En esos casos, se utiliza la cuantización no uniforme. Ésta se lleva a cabo subdividiendo el rango dinámico de entrada en niveles o intervalos irregulares, para que el ruido tenga efectos similares en cada intervalo. En el proceso de cuantización no uniforme, la señal de entrada es modificada primeramente mediante un mapeo de niveles, con lo que el rango original de niveles de entrada es modificado. Esta acción se conoce como **compresión**. Entonces la señal es cuantizada uniformemente y puesta a disposición del sistema para ser transmitida. En el lado del receptor la señal cuantizada se somete a un proceso de mapeo inverso al de compresión denominado **expansión**. En la práctica el circuito que desempeña estas funciones recibe el nombre (en inglés) de COMPANDER (COMPRESSOR-exPANDER).

Para digitalizar las señales de voz, por lo general se utiliza cuantización no uniforme. El empleo de este tipo de cuantización ha sido adoptado desde hace años para la telefonía

digital a través del uso de técnicas de PCM.

2.4.3. Codificación

En términos generales la modulación por pulsos codificados PCM es la técnica y el nombre con que se conocen las señales obtenidas de la cuantización de señales PAM, codificando cada muestra cuantizada en una palabra digital de cierto número de bits en forma proporcional al número de intervalos de cuantización, conforme a la siguiente relación:

$$L = 2^n$$

L = Número de intervalos de cuantización
n = Número de bits usados para representar digitalmente una muestra.

Este concepto es la base de la telefonía digital, en la cual se ha establecido el uso de una velocidad de muestreo de 8 KHz y un tamaño de palabra de 8 bits. La velocidad de transferencia de datos para un canal PCM es entonces 64 Kbps.

Después de haber sido codificada la señal PCM en forma binaria, el resultado será una señal unipolar que tendrá un importante factor indeseable que es: la existencia de intervalos repetitivos de secuencias de "unos" y "ceros" consecutivos, así como componentes de DC que no pueden ser transmitidos a través de transformadores de acoplamiento. Para evitar esto, existen diferentes códigos de línea que convierten la señal unipolar en bipolar. A saber:

- Códigos NRZ (Non return-to-zero) o de No Retorno a Cero
- Códigos RZ (Return-to-zero) o de Retorno a Cero
- Códigos codificados en fase
- Códigos binarios de niveles múltiples

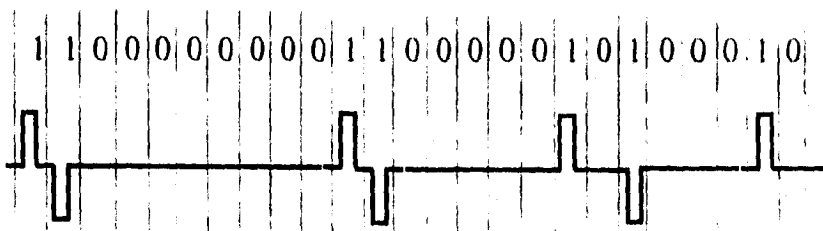
La gran cantidad de códigos de línea para PCM se debe a que cada uno de ellos presenta características especiales para una u otra aplicación. Entre los parámetros más importantes a examinar en el análisis de un código de línea tenemos los siguientes:

- Componente de DC. La ausencia de componentes de baja frecuencia en una señal permite su acoplamiento en AC con otros sistemas.
- Autosincronización. Esta propiedad permite al receptor sincronizarse a nivel de bit con la señal de entrada sin que exista otra señal de sincronización.
- Detección de errores. Algunos códigos realizan la detección de errores sin la introducción de bits adicionales para tal fin.

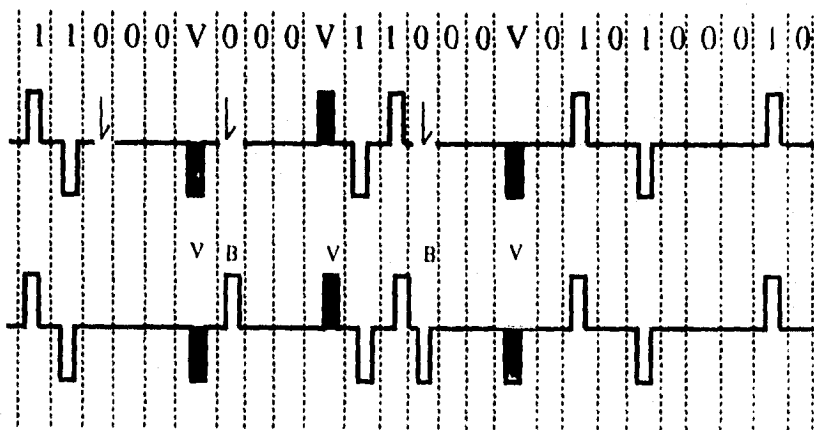
—Compresión del ancho de banda. Códigos como los de multinivel incrementan eficientemente el uso del ancho de banda disponible.
 —Inmunidad al ruido. Algunos códigos tienen mayor inmunidad al ruido que otros. Por ejemplo, los códigos NRZ son mejores en este sentido que los RZ.

Entre los códigos más usados están:

- Código AMI RZ (Alternate Mark Inversion)
- Código HDB3 (High Density Bipolar 3) o Código bipolar de alta densidad 3, que limita el número de ceros consecutivos a un máximo de 3. La fig. 2.12 representa señales codificadas en dichos códigos.



CODIGO AMI RZ



CODIGO HDB3

Figura 2.12. Códigos de Línea

CAPITULO 3
CANALES DE TRANSMISION

CAPITULO 3. CANALES DE TRANSMISION

Los canales físicos (el medio) que transportan los datos son de dos tipos: delimitados y no delimitados. En un medio delimitado, las señales están confinadas al medio y no lo dejan (excepto por pequeñas fugas). Un par de alambres, el cable coaxial, las guías de onda y las fibras ópticas, son ejemplos de medios delimitados. La atmósfera, los océanos y el espacio exterior son ejemplos de medios no delimitados, en los cuales las señales electromagnéticas originadas por la fuente son radiadas libremente en el medio y se propagan a través de él. Los medios no delimitados se usan para varios esquemas de transmisión de frecuencias de radio para portar mensajes. La característica principal de un medio no delimitado es que cuando la señal es radiada desde el transmisor, radia equitativamente en todas direcciones (a menos que esté restringida) y continúa siempre hacia adelante. Conforme se aleja de la fuente de transmisión, la energía es esparcida sobre una amplia área, así que el nivel se debilita continuamente a mayor distancia. De igual forma, al moverse en el medio, la onda se ve afectada por perturbaciones naturales que pueden interferir con la señal.

3.1. Alambres

El medio más simple es un par de alambres que conforman un camino de ida y regreso de las señales eléctricas. Los primeros sistemas de telégrafo usaban la tierra como uno de los caminos, en lugar de otro alambre, sin embargo, este esquema no trabajaba bien dado que la tierra no siempre es buen conductor y el sistema estaba sujeto a grandes señales de ruido. Con el uso de 2 alambres se redujeron las pérdidas y la influencia del ruido.

El tipo de línea de alambres más común consiste en un par de alambres trenzados y hecho con cables desde 4 hasta 3000 pares. Dado que un alambre actúa como antena, algunas técnicas son usadas para reducir la interferencia electromagnética. La mayoría de los cables son blindados y algunos pares torcidos a 90 grados cada cierta cantidad de metros. El tamaño de los alambres y la distancia entre ellos afecta la atenuación. Los pares de alambre trenzado están limitados a una frecuencia máxima de alrededor de 1 MHz.

3.2. Cable Coaxial

Algunos efectos interesantes y significativos ocurren en la vecindad de un alambre que lleva un flujo de corriente alterna. Uno de esos efectos es que se crean un campo eléctrico y un campo magnético alrededor del conductor. El campo magnético puede inducir la señal que porta sobre los conductores adyacentes (en comunicaciones, la señal no deseada inducida se conoce como crosstalk).

Empero, si uno de los conductores del par es el lado aterrizado del circuito y se hace en forma tal que rodea al otro conductor, tanto el campo radiado eléctrico como el magnético pueden confinarse dentro del tubo formado por el conductor externo.

Este medio se denomina Cable Coaxial, ya que los dos conductores tienen un eje común. La capa autoprotectora trabaja bien en frecuencias arriba de los 100 KHz, pero a baja frecuencia la protección es ineficaz. La pérdida resistiva del cable coaxial aumenta en proporción a la raíz cuadrada de la frecuencia, por lo que el cable coaxial es generalmente útil a frecuencias de hasta 2000 MHz, aun cuando algunos tipos de cable pueden ser usados hasta 10 000 MHz. El uso del cable coaxial permite poner más transmisiones de datos en el mismo canal al mismo tiempo.

3.3. Guía de Onda

Si la frecuencia de transmisión es suficientemente alta, los componentes eléctrico y magnético de una señal pueden viajar a través del espacio libre sin requerir un conductor sólido. Pero, para evitar interferencias y pérdidas debido al esparcimiento de la señal, así como para poder enrutar la señal en la forma deseada, a veces conviene confinar estas ondas a un medio conocido como Guía de Onda.

Las guías de onda se usan comúnmente a frecuencias desde 2000 MHz hasta 110000 MHz, para conectar transmisores y receptores de microondas a sus antenas. Las guías de onda están presurizadas con aire o nitrógeno secos para alejar la humedad del interior de la guía de onda, ya que la humedad provoca atenuación en las microondas. Las guías de onda fueron inicialmente construidas con una sección transversal rectangular. La práctica usual hoy en día es hacer guías circulares. Las guías de onda permanecen en uso como conductores de señales de alta frecuencia y gran potencia.

3.4. Sistemas de Fibra Óptica

La capacidad de un sistema de transmisión es función directa de la frecuencia más alta que puede transportar. El progreso en la tecnología de transmisión ha sido por tanto, medido por el ancho de banda disponible del medio para portar señales. Desarrollos recientes en el uso de fibras de vidrio para portar señales binarias han mostrado que estos sistemas son extremadamente adecuados para aplicaciones con tasas de datos muy altas. Los sistemas de fibra óptica presentan las ventajas siguientes:

—La pérdida de transmisión muy baja, en comparación con los alambres y el cable coaxial, permite mucho mayor separación entre repetidores. Se ha demostrado que un sistema de fibra óptica sin repetidores, transmite 420 Mbits por segundo sobre una distancia de 75 millas con una tasa de error varias veces menor a la de sistemas de cable coaxial de más alta calidad.

—Debido a que las fibras ópticas portan rayos de luz, la frecuencia de operación es la de la luz. La longitud de onda de transmisión usada para fibras monomodo actuales es 1.2 micrometros, equivalente a una frecuencia de alrededor de 800 terahertz (800×10^{12} Hz). Tales frecuencias permiten tasas de transmisión de datos de 20 mil Mbits sobre distancias cortas.

—Los cables de fibra óptica no radían energía, no conducen electricidad y no son inductivos. En esencia están libres del efecto de crosstalk y de interferencia inducida por rayos, y no presentan problemas de seguridad.

—Puesto que los cables de fibra óptica transportan energía luminosa, pueden ser enrutados a través de zonas en las que los cables eléctricos representan un peligro potencial.

—Los cables de fibra óptica son más pequeños, más ligeros y más baratos que los cables metálicos de igual capacidad. Es económicamente factible proveer algunas fibras sin usar en un cable como refacción o para uso futuro.

3.5 Radiotelefonía de Alta Frecuencia (HF)

Por convención, la transmisión de radio en la banda de frecuencias de 3 MHz a 30 Mhz es llamada radio de alta frecuencia (HF). Estas frecuencias son asignadas por tratados internacionales para servicios específicos, tales como aeronáutica, transmisión marina y terrestre, radiodifusión, radio navegación, radio aficionados, comunicaciones espaciales y radio astronomía. La radio de alta frecuencia tiene propiedades de propagación que la hacen menos confiable que algunas otras frecuencias. Sin embargo, permite la comunicación sobre grandes distancias con cantidades pequeñas de potencia radiada.

Las ondas de radio HF transmitidas desde antenas terrestres, siguen dos caminos cuando dejan la antena, como lo muestra la figura 3.1. La onda de tierra sigue la superficie terrestre y la onda ionosférica rebota hacia atrás y hacia adelante entre la superficie de la Tierra y varias capas de la ionosfera. La onda de tierra es útil para comunicaciones hasta cerca de 400 millas y trabaja particularmente bien sobre el agua. La onda ionosférica propaga señales hasta por 4000 millas con una confiabilidad de trayectoria de casi 90%. Las señales de datos son portadas en sistemas de radio HF como radiotelegrafía de onda continua a cerca de 15 bps, y señales de banda base moduladas por corrimiento de frecuencia son portadas sobre HF a 75 bps. Tasas de bits de datos mayores (hasta 4800 bps) son convertidas a señales de canal de voz de 3KHz por modems, y estas señales analógicas son transmitidas en sistemas de portadora de frecuencia de voz (VF) usando radio HF.

3.6. Microondas

Los sistemas de radio de microondas, también llamados sistemas de enlace por radio, pueden portar grandes cantidades de tráfico de voz y datos, por varias razones:

—No requieren derecho de paso entre torres

- Pueden portar grandes cantidades de información por sistemas de radio, debido a su alta frecuencia de operación
- Requieren la compra o arrendamiento de sólo una pequeña área de terreno para instalación de cada torre
- Puesto que la longitud de onda de la señal transmitida es corta, una antena de razonable tamaño puede enfocar la señal transmitida en un haz. Esto proporciona una mayor fuerza de señal en el receptor sin tener que incrementar la potencia del transmisor.

Los sistemas de microondas están sujetos a empeoramientos de transmisión que limitan la distancia entre puntos repetidores y causan otros problemas. Las señales de microondas:

- Son atenuadas por objetos sólidos (incluyendo la Tierra), además las más altas frecuencias son atenuadas por la lluvia, la nieve y la niebla.
- Son reflejadas desde superficies planas conductoras (tales como estructuras metálicas)
- Son difractadas (descompuestas) alrededor de objetos sólidos
- Son refractadas (desviadas) por la atmósfera de modo que el haz puede viajar más allá de la distancia entre estaciones terrenas y ser recogido por una antena que no debería recibirlo.

A pesar de estos problemas, los sistemas de microondas son altamente exitosos y hasta finales de los 80's, portaban una parte substancial de todo el tráfico de teléfono, datos y televisión en los Estados Unidos de América.

Los sistemas de enlace por radio terrestres son punto a punto, esto es, la señal es transmitida en un haz desde una antena de microondas a través de una superficie de la Tierra hasta la antena a la cual es dirigida. El ancho del haz transmitido por una antena de microondas varía entre 1 y 5 grados, en función de la frecuencia de transmisión y el tamaño de la antena. Como resultado, la transmisión es altamente direccional lo cual es deseable si la información está dirigida a un solo destino (por ejemplo una conversación telefónica). Para muchas aplicaciones, sin embargo, la información tiene múltiples destinos (por ejemplo las emisiones de televisión), lo que hace que los sistemas de enlace por radio vía satélite sean más prácticos y deseables.

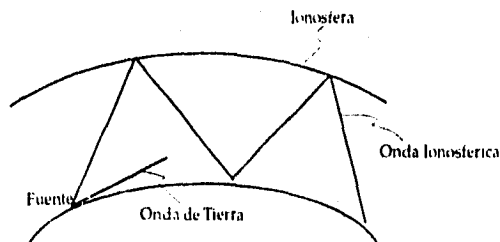


Figura 3.1. Señales de radio de alta frecuencia

3.7. Sistemas de Radio Vía Satélite

La figura 3.2 es un modelo simple de un enlace vía satélite. El satélite contiene varias secciones receptor/amplificador/transmisor, llamadas transponders, cada uno operando a frecuencias ligeramente diferentes. Cada uno de los transponders en cada satélite tiene un ancho de banda de 36 MHz. Puntos de transmisión individuales llamados estaciones terrenas de enlace de subida, envían haces angostos de señales de microondas al satélite. Un transponder recibe la señal de un transmisor, la amplifica y la retransmite hacia Tierra con una frecuencia diferente. Cabe hacer notar que la estación terrena transmisora envía señal a un sólo transponder en un sólo satélite. El satélite empero, envía a todas las estaciones terrenas receptoras del enlace de bajada, que se encuentran en su área de cobertura, denominada traza, huella o pisada.

Los satélites de comunicación comerciales son lanzados a una órbita geoestacionaria a una altitud de 35 900 km (22 300 millas) sobre el plano del Ecuador. Esto significa que el satélite geoestacionario está orbitando la Tierra a una velocidad constante y en la misma dirección de la rotación de la Tierra alrededor del eje terrestre. La velocidad de órbita es tal que causa que el satélite tenga una posición aparentemente fija con respecto a Tierra. Las antenas de las estaciones terrenas, por tanto, pueden tener una posición fija y no tienen que rastrear un blanco móvil en el cielo.

El ángulo de vista para un satélite geoestacionario es casi de 120 grados. En principio, 3 satélites equitativamente espaciados alrededor del Ecuador podrían cubrir toda la Tierra desde una latitud de 60 grados norte a 60 grados sur. En la práctica, el ángulo de cobertura está restringido a menos de 110 grados debido a que la antena terrestre tiene que ser elevada arriba del horizonte por más de 5 grados.

Varios tipos de señales son portadas por sistemas vía satélite. Por ejemplo, el ancho de banda de 6 MHz de los programas de televisión estándar, canales telefónicos multiplexados a 64 kbps, y datos de alta velocidad pueden ser portados simultáneamente.

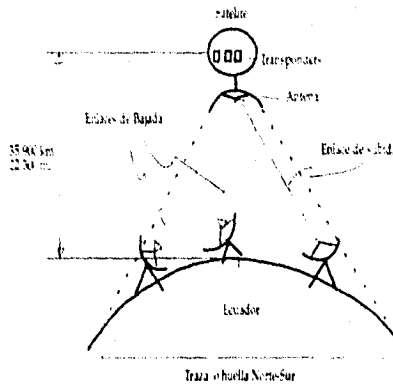


Figura 3.2. Sistema de Enlace Vía Satélite

3.8. Sistemas de Radio Celulares

Un área metropolitana es dividida en varias celdas o células, cada una de las cuales es servida por un transmisor de baja potencia y un receptor asociado. Los canales de radio son apropiados para transmisión de datos hasta 9.6 kbps, así como para la voz.

El número de canales de radio asignado a cada célula es suficiente para el número predicho de usuarios en cada célula en cualquier momento. Cuando un usuario hace una llamada, su unidad móvil automáticamente toma un canal libre en su célula en uso. Cuando el usuario se sale de la célula, el controlador de células conmuta el control de la llamada desde la célula que es abandonada a la célula que es penetrada. Incluso un canal de radio diferente puede ser usado, pero el usuario que llama no tiene que hacer nada y nunca está consciente de esto. La llamada es enlazada desde el controlador de células hasta el sistema central de conmutación. Éste puede enlazar al usuario que llama vía radio con otro usuario móvil o puede acceder a la red pública telefónica para conectarlo con un teléfono fijo.

El sistema de radio celular original está basado en tecnología analógica. Esto resulta en dedicar un canal celular a un llamante mientras esté localizado dentro de la célula. Esta restricción limita el número de conversaciones simultáneas que un sistema de radio celular puede soportar. Hacia fines de los 80's, la investigación y desarrollo resultaron en un prototipo de sistema de radio celular digital, en el cual varios usuarios pueden compartir el uso de un canal celular por tiempo, técnica conocida como multiplexaje por división de tiempo. Debido al tremendo crecimiento en el número de subscriptores de teléfono celular y a su uso de sistemas de radio celulares, se espera que los sistemas digitales tengan un uso extendido.

CAPITULO 4
MODULACION

CAPITULO 4. MODULACION

La modulación es el proceso que transforma los símbolos digitales en formas de onda compatibles con las características del canal de comunicación. Cuando se habla de señales de banda base, la forma de onda son pulsos, en tanto que en las señales de banda ancha o moduladas la información a transmitir modula una forma de onda senoidal llamada portadora, la cual es entonces transmitida a través del canal o medio de comunicación.

La razón principal para modular una señal original de banda base se aprecia claramente si consideramos que para su transmisión se utilizará la radiación electromagnética. Al hablar de sistemas de radio, la transmisión se efectúa a través de antenas cuya longitud física deberá ser por lo menos la longitud de onda (λ) de la frecuencia central a transmitir. Por ejemplo, si quisiéramos transmitir una señal de banda base cuya frecuencia central fuera 10 KHz, el tamaño de la antena sería:

$$\begin{aligned}\lambda &= c/f & f &= \text{frecuencia} \\ \lambda &= (3 \times 10^8 \text{ m/s}) / (10^4 \text{ Hz}) & \lambda &= \text{Longitud de onda} \\ \lambda &= 30 \text{ km} & c &= \text{velocidad de la luz}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\lambda &= c/f \\ \lambda &= (3 \times 10^8 \text{ m/s}) / (400 \times 10^6 \text{ Hz}) \\ \lambda &= 0.75 \text{ m}\end{aligned}$$

Otra razón importante para usar la modulación es la de permitir multiplexar o agrupar varias señales diferentes a través del mismo canal de comunicación. Asimismo, la modulación es usada para cambiar la banda de frecuencia del espectro de una señal hacia otra banda donde sea más sencillo el filtraje o amplificación de la misma; la señal resultante se conoce como **frecuencia intermedia** o **FI**, que es muy usada en radioreceptores.

La tarea del demodulador o detector es la recuperación de los bits de información a partir de la señal recibida y con el menor grado de error posible, a pesar de las distorsiones a que dicha señal haya sido sujeta.

4.1. Técnicas de modulación Básicas

Las diferentes técnicas de modulación se basan en los tres parámetros básicos de toda onda senoidal: Amplitud, Frecuencia y Fase.

De modo que la modulación puede definirse también como el proceso mediante el cual la amplitud, frecuencia o fase de una portadora, o alguna combinación de ellas, es variada de acuerdo con la información a transmitir.

Las técnicas básicas de modulación son:

- Phase Shift Keying (PSK) o por desplazamiento de fase. Los cambios de fase son de 180° o radianes.
- Frequency Shift Keying (FSK) o por desplazamiento de frecuencia. El espaciamiento de las frecuencias de los tonos utilizados para representar un símbolo u otro depende del periodo de tiempo asignado para cada símbolo.
- Amplitude Shift Keying (ASK) o por desplazamiento de amplitud. También se conoce como modulación "on-off".
- Modulación APK. Es la combinación de ASK y PSK, presenta cambios tanto de amplitud como de fase. También se conoce como QAM.

Para todas ellas hay dos modalidades:

—Coherente.- Se refiere a que el receptor usa la información de fase de la portadora para realizar el proceso de detección, presentándose un "amarre" de fase entre el receptor y la señal entrante.

—No coherente.- Se refiere al hecho de que para la detección del símbolo presente (actual) se utiliza la información de fase del símbolo detectado anteriormente. Un ejemplo de este tipo es la Modulación DPSK Binaria.

4.2. Otras Técnicas de Modulación Importantes

Otras dos técnicas de modulación utilizadas en radios digitales son:

—QPSK (PSK en cuadratura). Se lleva a cabo separando en cuadratura los pulsos bipolares originales para obtener en forma separada los bits noes y los bits pares, con el fin de que cada uno de estos trenes de pulsos modulen a dos señales senoidales que tienen una diferencia de fase de 90° .

—O-QPSK (Offset QPSK). Es similar al anterior, con la diferencia que la señal en cuadratura se retrasa un periodo de tiempo T antes de modular a la portadora correspondiente.

4.3. Técnicas de Multiplexaje

Siempre que hay un requerimiento para el uso de dos o más caminos de transmisión que están parcial o completamente enrutados en paralelo, existe también la oportunidad de economizar el costo de transmisión a través del multiplexaje.

El multiplexaje provee un mecanismo para compartir el uso de un canal o circuito común por dos o más usuarios. Como tal, su diseño original estuvo basado en el aspecto económico. Imaginemos que usted tiene que llevar varias cartas a la oficina de correos. Usted puede subir a su automóvil y tomar una carta, llevarla al correo, regresar, tomar una segunda carta y llevarla al correo, regresar y tomar la siguiente... algo tonto, ¿verdad? Porque no tomar todas las cartas en el mismo viaje, ya que todas van a la oficina de correos. A esto es lo que el multiplexaje equivale: usar un solo recurso (en este caso el viaje en automóvil) para portar más de un mensaje a la vez (las cartas). En los sistemas que nos conciernen, los sistemas de radio vía microondas o satélite, son un medio de transmisión, y una llamada telefónica, por ejemplo, es el mensaje. El medio de transmisión es dividido en cualquiera de dos formas, con el fin de compartirlo: por frecuencia o por tiempo.

4.3.1. Multiplexaje por división de frecuencia (FDM)

La figura 4.1 muestra el uso del multiplexaje por división de frecuencia (FDM) para portar más de una conversación telefónica sobre un canal de transmisión. En efecto, las frecuencias en cada llamada son cambiadas de modo que pueden ser colocadas una junto a otra en un canal de banda ancha y transmitidas como un grupo. En el otro extremo, las frecuencias en cada llamada son cambiadas a sus frecuencias originales. El FDM fue el pilar de la transmisión telefónica por muchos años, es más eficiente en términos de ancho de banda que los sistemas digitales. El problema es que el ruido es amplificado junto con la voz. Este hecho y la gran disminución en el costo de la electrónica digital, ha conducido al amplio reemplazo de sistemas FDM por sistemas de multiplexaje por división de tiempo (TDM).

Una segunda y tal vez más importante razón para la tremenda reducción en el uso de FDM durante los últimos años, fue la conversión de la mayoría de las instalaciones de transmisión de portadora de comunicaciones de larga distancia de forma analógica a digital. Esta conversión trajo por resultado la digitalización de conversaciones en una central, para portarlas en formato digital hasta otra oficina central. En ésta la conversación digitalizada es reconvertida a su forma analógica y enviada hasta el teléfono del destinatario conectado a dicha central.

4.3.2. Modulación Digital y Modulación por pulsos codificados (PCM)

Para obtener una apreciación del método por el cual la voz (analógica) es convertida a un formato digital, examinaremos la modulación digital que conforma la base para el uso de TDM en portadoras de comunicaciones.

Las ondas senoidales son todo lo que tenemos para trabajar en la transmisión sobre un canal telefónico analógico, ya que éste no transmite pulsos. Los sistemas de transmisión

digitales transmiten pulsos y con ellos podemos codificar cualquier información analógica o digital con pulsos modulados.

La figura 4.2 muestra tres formas de modular pulsos para transportar datos. Cuando la amplitud de los pulsos es variada para representar información analógica, el método se denomina PAM o modulación por amplitud de pulsos. Este método es muy susceptible a la interferencia del ruido eléctrico. En el segundo caso, llamado PWM o modulación por ancho de pulso, la información es representada por la variación del ancho de los pulsos. Ambas técnicas son usadas en equipos de conmutación telefónicos. La tercera técnica, en la cual se varía la posición de los pulsos dentro de un grupo de pulsos (llamado trama) para representar la información, se denomina PPM o modulación por posición de pulso.

La figura 4.3 muestra el proceso de muestreo de una señal analógica, tal como en PAM, pero las amplitudes de las muestras son codificadas en números binarios representados por pulsos de amplitud constante que son transmitidos. Este proceso, conocido como PCM —pulse code modulation— o modulación por pulsos codificados, supera el problema de interferencia por ruido que se presenta en la técnica PAM.

El sistema PCM usado por portadoras de comunicaciones, emplea un proceso de tres etapas: muestreo, cuantización y codificación. Durante el proceso de muestreo, la señal analógica (voz) es muestreada 8000 veces por segundo ($f_s = 8\text{KHz}$). Esta tasa de muestreo se basa en el Teorema de Nyquist. Las muestras resultantes —parte (a) de la figura 4.3— representan un número infinito de voltajes. Así, la segunda etapa en el proceso PCM, cuantización, reduce la señal PAM a un número limitado de amplitudes discretas (niveles de cuantización). El tercer paso, la codificación, reduce el número de valores únicos de la señal PAM de modo que éstos pueden ser codificados mediante el uso de un byte (8 bits). Por facilidad, la parte (b) de la figura 4.3. usa 4 bits para representar cada muestra de la señal PAM, en la realidad se utilizan 8 bits.

4.3.3. Multiplexaje por División de Tiempo (TDM)

La mayoría de las redes de comunicaciones usadas por diversas organizaciones, incluyen varios sistemas TDM que son usados en esencia por razones económicas. Cuando un circuito y un par de multiplexores reemplazan dos o más circuitos de datos, los ahorros que se acumulan de la eliminación de líneas, usualmente pagan la adquisición del equipo requerido, en menos de un año.

Otra razón, es el relativo costo fijo asociado con el uso de los multiplexores. El costo de un sistema multiplexor es más bien estable y previsible, ya que el costo de la línea es facturado mensualmente basado en la distancia entre los puntos del sistema y no es dependiente de su uso. Por comparación, el costo de usar una red telefónica conmutada depende de muchos factores: la duración, el día y hora de la llamada, la distancia entre abonados, etc.

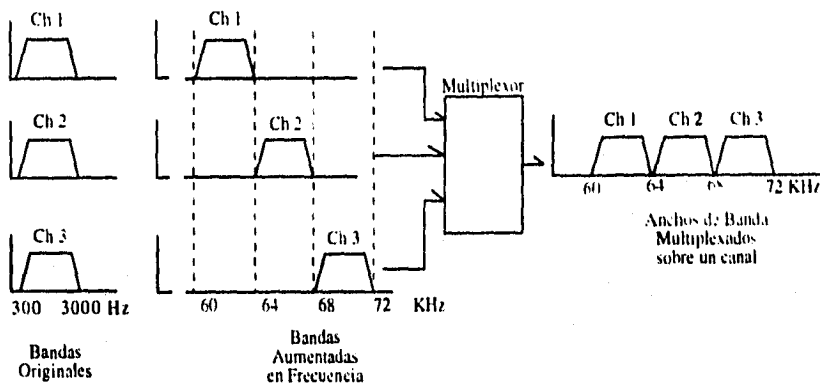


Figura 4.1. Multiplexaje por División de Frecuencia (FDM)

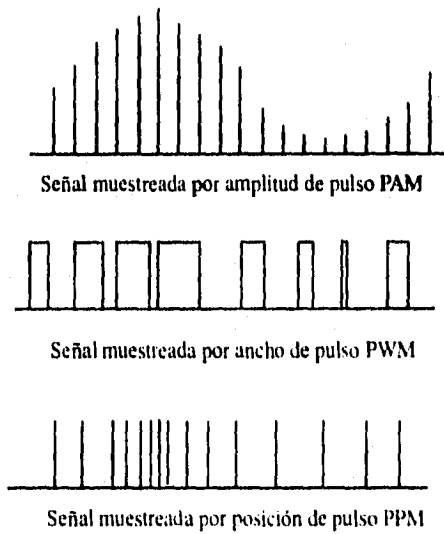


Figura 4.2. Modulación Digital

Un multiplexor TDM como su nombre lo implica, utiliza el tiempo como referencia para multiplexar los datos. Con el fin de entender la operación TDM así como las limitaciones asociadas a esta tecnología, analizaremos la manera en que los datos de algunas terminales y computadoras son multiplexados y demultiplexados.

Supongamos un sistema con tres dispositivos terminales en una posición remota, cuyos datos son multiplexados hacia una computadora principal en otra posición. Para simplificar nuestra explicación, se asume que la terminal 1 transmitió la secuencia de caracteres 'BA', la terminal 2 transmitió 'DC' y la terminal 3, 'FE'. El multiplexor en la posición remota explora cada puerto conectado a una terminal buscando datos. Durante la primera exploración reconoce 'A', 'C' y 'E' como entrada en los puertos 1, 2 y 3 del multiplexor. Entonces acepta los datos desde cada puerto y construye una trama de multiplexaje que representa los datos de cada puerto durante cada exploración. De esta manera, la trama 1 contiene la secuencia de caracteres 'ECA' y la trama 2 contiene 'FDB'. En realidad cada trama contendrá también datos de caracteres predeterminados de sincronización así como información de una o más exploraciones.

En el TDM receptor, la posición de los datos en cada trama se usa para asegurar el demultiplexaje correcto de la información. Como lo muestra la figura 4.4, 'A' está en la primera posición de la trama 1, lo que indica al TDM que este dato (byte de información) debe ser puesto en el puerto 1 del demultiplexor. En forma similar, en la trama 1, 'C' localizado en la segunda posición y 'E' en la tercera, informan al demultiplexor que debe poner esos caracteres en los puertos 2 y 3 respectivamente. En seguida, la información de la trama 2 es examinada igualmente. De aquí que el proceso de multiplexaje por división de tiempo depende de la posición de los datos dentro de cada trama.

Una limitación del proceso TDM, se presenta con la alta probabilidad, en cualquier instante, de que no haya actividad de transmisión de información desde o hacia uno o más dispositivos terminales. Dado que el demultiplexor TDM funciona con la posición de los datos en cada trama, la ausencia de actividad podría resultar en la interpretación errónea de los mismos. Para prevenir este problema, el TDM transmisor inserta caracteres nulos en cada trama siempre que no detecta actividad a la entrada de un puerto muestreado por el proceso de exploración. En el TDM receptor, los caracteres nulos mantienen el posicionamiento requerido dentro de la trama para un demultiplexaje correcto, sin embargo son desechados por el TDM y no son enviados a los puertos de salida de éste, por lo que no llegan a los dispositivos terminales conectados.

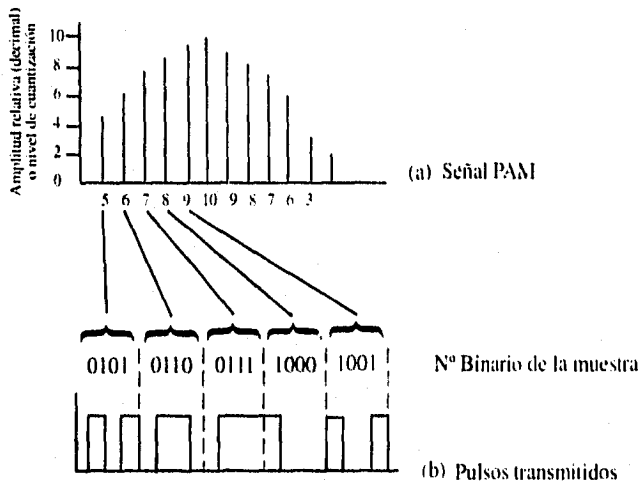


Figura 4.3. Modulación PCM

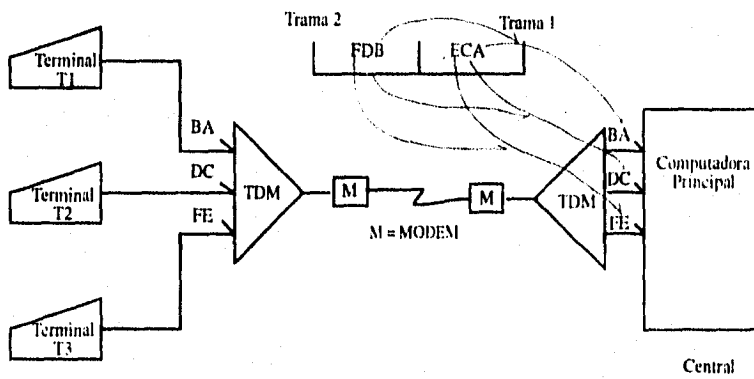


Figura 4.4. Multiplexaje por división de Tiempo

CAPITULO 5
COMUNICACIONES VIA SATELITE

CAPITULO 5. COMUNICACIONES VIA SATELITE

En la actualidad, la comunicación digital presenta muchas ventajas que incluyen: la fácil y eficiente multiplexión de numerosas señales o el manejo de mensajes en paquetes para su correcta conmutación; la relativa insensibilidad de los circuitos digitales al ruido, las tasas de error extremadamente bajas y la alta fidelidad de información a través de la detección y corrección de errores, así como la privacidad de las comunicaciones y la flexibilidad para la configuración y uso de hardware.

Al evolucionar la tecnología, los satélites, que inicialmente eran usados en gran medida para la conducción de señales telefónicas y de televisión, se convirtieron en medios valiosos y confiables de comunicación de señales digitales, dando así respuesta a la creciente demanda de transmisión de señales de datos a alta, mediana y baja velocidad que la informática ha venido presentando con su amplia gama de servicios.

Hay varias similitudes entre un enlace de microondas y un enlace por satélite, la principal diferencia es que mientras la distancia típica entre repetidores de microondas es de 50 Km, la distancia Tierra-satélite es aproximadamente 36 000 Km. La intensidad de la señal radiada disminuye proporcionalmente al cuadrado de la distancia que viaja, por tanto la señal es muy débil dado el tiempo que requiere para hacer el recorrido de Tierra al satélite. Otra característica importante es que debido a que la señal viaja de la Tierra al satélite y viceversa, ocurre un retardo, lo cual representa una desventaja. El tiempo de propagación de la señal está cerca de 270 mseg y varía ligeramente con la localización de las estaciones terrestres. Por ejemplo, en un enlace telefónico vía satélite, el subscriptor (usuario) espera la respuesta de su correspondiente, un tiempo extra de 540mseg.

En un sistema interactivo de transmisión de datos vía satélite, el usuario terminal experimenta una situación idéntica a la del abonado telefónico en cuanto al incremento de los tiempos de respuesta, lo cual debe tomarse en cuenta al diseñar este tipo de sistemas. En muchos de ellos, el tiempo medio de respuesta no debe exceder a 2 segundos, objetivo satisfactoriamente logrado en los enlaces por satélite.

El retardo puede afectar seriamente la transmisión de datos vía satélite, cuando los protocolos y mecanismos utilizados han sido diseñados para operación con enlaces terrestres que tienen tiempos de retraso de propagación muy pequeños. Empero, puede ocurrir lo mismo cuando se reemplazan circuitos satelitales por circuitos terrestres; en ocasiones sucede que este reemplazo produce efectos severos en los tiempos para envío de la información de un extremo a otro. Esto nos hace concluir que los satélites son sumamente eficientes para la transmisión de datos, si los protocolos y mecanismos de control empleados por los usuarios son diseñados adecuadamente.

Cuando se utilizan protocolos terrestres sin modificación alguna, en enlaces por satélite, el retardo en los tiempos de propagación puede provocar una seria degradación en el desempeño del sistema de datos. Para evitar esto, se hace necesario un cambio en el software o hardware de los dispositivos empleados, lo cual es a menudo relativamente simple.

Varias empresas de la industria de la computación, como IBM, tienen sus propios y diferentes protocolos de control de enlace, especialmente diseñados para la transmisión de datos vía satélite.

Debido al tiempo de retardo, los enlaces vía satélite para transmisión de datos, son técnicamente diseñados para dar mejores rangos de error que los enlaces terrestres. Una tasa de error a nivel de bit (BER) típica de circuitos satelitales es de 10^{-7} , en enlaces telefónicos terrestres, por ejemplo, el valor es de 10^{-5} .

En los enlaces satelitales, los bits en error se presentan generalmente distribuidos en forma aleatoria, en tanto que en circuitos terrestres, aparecen frecuentemente en ráfagas, esto quiere decir que los códigos de detección de errores son más seguros para detectar errores, en los circuitos satelitales que en los terrestres.

Con todo, la comunicación punto a punto, involucra regularmente el empleo de circuitos terrestres para conectar al usuario con la estación terrena; de aquí que el control de errores punto a punto, debe repartirse entre medios de conducción espacial y terrestre.

5.1. Breve Historia de los Satélites de Comunicación

El primer satélite artificial fue lanzado en Octubre 4 de 1957 por la ex Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, el "Sputnik". Posteriormente se lanzaron otros satélites, unos de tipo pasivo y otros activos con órbitas elípticas inclinadas; requiriéndose sistemas de rastreo y seguimiento en las correspondientes terminales terrenas. Para mantener una comunicación continua se necesitan más de 1 satélite y al menos dos estaciones en cada sitio, las cuales son complejas y costosas.

El escritor y físico Arthur C. Clark, dió las bases técnicas para integrar un sistema de comunicación global internacional, mediante el uso de 3 satélites de tipo geoestacionario, es decir, satélites que giran sobre el plano del Ecuador, con el mismo eje de rotación de la Tierra y a una altura cercana a 36 000 km, con el fin de que dinámicamente giren a la misma velocidad angular de la Tierra, y que parezcan fijos para un observador sobre ella. Esto nos conduce al uso de estaciones terrenas fijas de bajo costo.

Los satélites de comunicación se dividen en tres categorías por cuanto a los servicios que presentan: fijos, móviles y de radiodifusión.

El concepto que se tenía del valor y aplicaciones de las comunicaciones por satélite, ha cambiado desde el lanzamiento en 1958 del primer satélite de comunicaciones, el SCORE de la NASA, puesto en órbita a alturas de 110 a 920 millas, con un peso de 150 libras que llevaba una grabación con un mensaje de navidad del presidente Eisenhower. Los satélites fueron concebidos inicialmente como medios de alcance para lugares aislados, idea que se fue transformando con el rápido desarrollo de la tecnología.

En 1962, se pone en órbita de 682 a 4030 millas de altura, el TELSTAR, primer satélite de transmisión y recepción simultáneas (6/4 GHz), con una potencia de salida de 3 watts, que fue utilizado para telefonía, televisión, facsímil y datos.

Con el logro de ubicar satélites geosíncronos, en una órbita síncrona con la rotación de la Tierra, se simplificó la comunicación espacial. El primer satélite de este tipo fue el SYNCOM de la NASA, lanzado en 1963.

Al caer los costos de la fabricación y puesta en órbita de los satélites, éstos empiezan a competir, en el ámbito de las comunicaciones internacionales, con los cables telefónicos submarinos.

Hacia 1965, año en que fue lanzado el MOLNIYA, primer satélite de comunicaciones de una serie perteneciente a la ex URSS, inicia sus operaciones el EARLY BIRD, primer satélite comercial, al que siguieron los de la serie INTELSAT II en 1966, INTELSAT III en 1968, INTELSAT IV en 1971, INTELSAT IV-A e INTELSAT V a mediados de los 70's. Todos pertenecientes al consorcio internacional del mismo nombre, del cual México forma parte.

A consecuencia del continuo y acelerado avance de la tecnología, surgen sistemas satelitales con propósitos de comunicación nacional. El primero de ellos inicia sus operaciones en 1972, al ponerse en órbita el satélite canadiense ANIK, cuyo fin original era proporcionar comunicación a los habitantes de los territorios del norte de Canadá.

Dado el primer paso, fueron apareciendo nuevas generaciones de satélites de comunicaciones y fue aumentando el número de países propietarios de tales sistemas. Actualmente existen más de 50 países que utilizan las comunicaciones vía satélite para satisfacer sus necesidades nacionales, algunos de ellos con satélites propios y otros arrendando la capacidad del INTELSAT. México fue el segundo país latinoamericano en contar con sus propios satélites de comunicación, precedido por Brasil.

Las telecomunicaciones en nuestro país, han estado estrechamente ligadas a las innovaciones tecnológicas en este campo. En 1968, México se incorpora a las comunicaciones espaciales, al iniciar operaciones la estación terrena para comunicaciones internacionales Tulancingo I, operando con uno de los satélites del consorcio internacional INTELSAT.

En 1981, se hacía necesario liberar capacidad de la Red Federal de Microondas dada la gran demanda de servicios de telecomunicaciones; se instalan entonces cerca de 200 estaciones terrenas dedicadas a la conducción de señales de televisión y se renta parte de la capacidad disponible de uno de los satélites INTELSAT.

Para impulsar el desarrollo de las telecomunicaciones nacionales, satisfacer la demanda de servicios y poder hacer llegar los beneficios de la comunicación a poblaciones de difícil acceso, se procedió a analizar la conveniencia y factibilidad de que nuestro país contara con satélites propios. Fue así como en 1982 se firmaron acuerdos para el desarrollo del sistema Morelos y posteriormente del Solidaridad.

5.2. Tecnología Básica de los Satélites

Los sistemas de comunicaciones vía satélite, son básicamente sistemas de microondas con un solo repetidor. El satélite debe estar en una órbita geoestacionaria, esto es, la velocidad del satélite es la misma de la rotación de la Tierra en el Ecuador. Debido a la gran distancia entre el satélite y la Tierra, y a las limitaciones de tamaño de las antenas, la cobertura para un satélite transmisor puede ser tan grande como el territorio continental de los Estados Unidos de América, por ejemplo.

Para los servicios de transmisión que se originan en un solo punto y que fluyen hacia muchos puntos en una dirección, tales como TV y señales de radio, el área de cobertura es ideal. El retraso entre el instante en que una señal es enviada y el instante en que regresa a Tierra (alrededor de 420 milisegundos) no tiene efecto considerable cuando la señal viaja en un solo camino. Sin embargo, para señales como las sesiones de comunicación de datos y conversaciones telefónicas que viajan en ambas direcciones y que son destinadas a recibirse en algún otro punto, el área de cobertura y el retraso pueden causar problemas.

Las conversaciones telefónicas y los datos, usualmente ocurren como series de mensajes en una dirección que son respondidas o reconocidos en otra dirección. Cuando el retraso entre el mensaje enviado y la respuesta es largo, la tasa de transmisión de la información se reduce. En el caso de los mensajes de voz, largos retrasos entre la pronunciación del mensaje y la contestación, hace que el usuario piense que no ha sido escuchado o entendido. Esto lo lleva a repeticiones que provocan frustración. Existe también un serio asunto de privacidad en las comunicaciones dirigidas a un solo destino, que son difundidas de modo que toda una zona continental puede recibirlas. Empero, dada la facilidad de cifrar la información en forma digital, cuando la interceptación de señales ocurre, la información interceptada es cuando menos difícil de descifrar.

Un sistema de transmisión vía satélite consiste de una o más estaciones terrenas y un satélite geoestacionario que puede ser visto por todas ellas. Se asignan frecuencias separadas para enviar información al satélite (enlace de subida) y para recibir desde el satélite (enla-

ce de bajada). Algunas asignaciones de frecuencia en uso actualmente para sistemas de satélites se muestran en la tabla 5.1.

Frecuencias de subida	Frecuencias de bajada
5.925 - 6.425 GHz	3.700 - 4.200 GHz
7.900 - 8.400 GHz	7.250 - 7.750 GHz
14.00 - 14.50 GHz	11.70 - 12.20 GHz
27.50 - 30.00 GHz	17.70 - 20.20 GHz

Tabla 5.1

La figura 5.1. representa el espectro de frecuencias de las señales electromagnéticas. En este esquema podemos situar las bandas de frecuencia usadas para transmisión de microondas o vía satélite.

Los satélites están equipados con múltiples unidades repetidoras llamadas **transponders**. Muchos sistemas tienen 12 ó 16 transponders, pero las nuevas series de satélites internacionales llegan a tener 46. Los transponders son asignados para diferentes usos, pero en el caso de aquéllos usados para voz o canales de comunicación de datos (ancho de banda nominal de 4MHz), la capacidad del transponder puede ser tan grande como 3000 canales.

5.2.1. Descripción y Características de un Sistema Satelital

Un sistema satelital (fig. 5.2) consiste de dos segmentos principales:

- Segmento espacial. Satélite. Instalaciones en Tierra para control, telemetría, telecomando y seguimiento del satélite.
- Segmento terrestre. Estaciones terrenas

Principales Subsistemas de un Satélite

1.- Antenas. Reciben y transmiten señales de radiofrecuencia. Presenta las características siguientes:

- Alta ganancia de transmisión
- Alta directividad y bajo nivel de interferencia
- Radiación con alta pureza de polarización
- Escasa sensibilidad al ruido térmico en la recepción

Pueden ser de varios tipos:

- Parabólica con alimentación en punto focal
- Parabólica Caseegrain
- Parabólica Gregoriana
- Parabólica tipo Offset

Constan de los componentes siguientes:

- Sistemas Mecánicos. Reflector principal, pedestal, mecanismo de arrastre y servosistema
- Fuentes Primarias. Alimentador, subreflector, acoplador de seguimiento, polarizadores y duplexores

2.- Comunicaciones. Este subsistema (figura 5.3) amplifica las señales y cambia su frecuencia.

3.- Energía Eléctrica. Suministra electricidad con los niveles adecuados de voltaje y corriente. La fig. 5.4 ilustra la configuración de este subsistema.

4.- Control Térmico. Mantiene el equilibrio térmico entre el calor generado internamente y la energía absorbida del Sol y la Tierra. Utiliza radiación y conducción interna, mediante dispositivos y materiales como son: espejos de cuarzo, plásticos aislantes (Kapton, Mylar y Kevlar), pinturas de diversos colores, calefactores y caloductos.

5.- Posición y Orientación. Puede usar estabilización por giro o por 3 ejes (triaxial). Realiza la medición del ángulo en el arco geostacionario a través de la comparación de señales recibidas por estaciones separadas o mediante movimientos escalonados de la antena terrestre hasta obtener máxima recepción. A través de sensores de Sol (elementos foto-voltaicos), sensores de Tierra (termopilas que detectan el calor) y sensores de radio-frecuencia, mide la orientación del satélite y permite su rastreo.

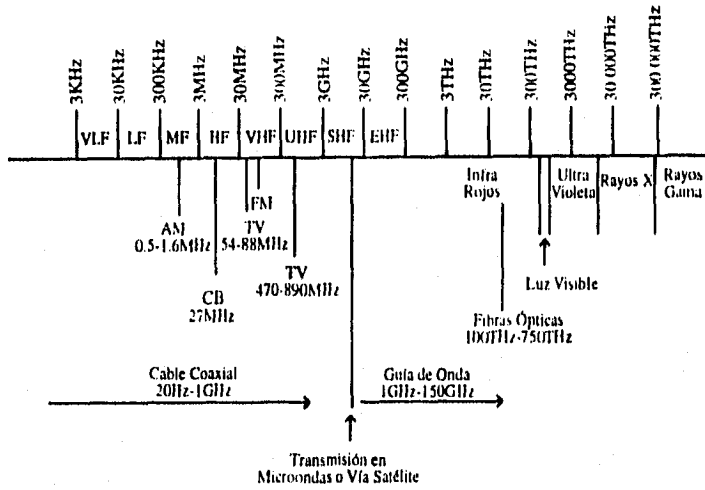
6.- Propulsión. Proporciona incrementos de velocidad y pares, para corregir la posición y orientación.

Pueden ser:

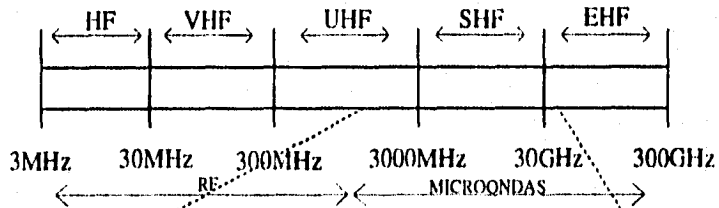
- Convencionales. Motor de apogeo de combustible sólido
Propulsión monopropelente para maniobras en órbita, con el uso de hidracina y un catalizador.
- Eléctricos. Utilizan partículas cargadas eléctricamente, a alta velocidad que son expulsados por un 'propulsor de iones'.

7.- Rastreo, Telemetría y Comando. TTAC (tracking, telemetry and command). Intercambia información con el centro de control en Tierra para conservar el satélite en buen funcionamiento. Permite conocer la operación y posición del satélite y enviar órdenes.

ESPECTRO DE FRECUENCIAS



ESPECTRO DE FRECUENCIAS



ESPECTRO DE MICROONDAS

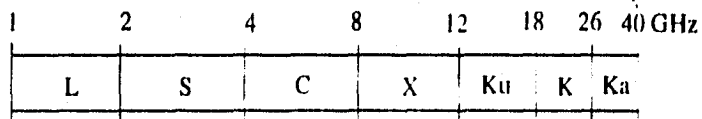


Figura 5.1. Espectro Electromagnético

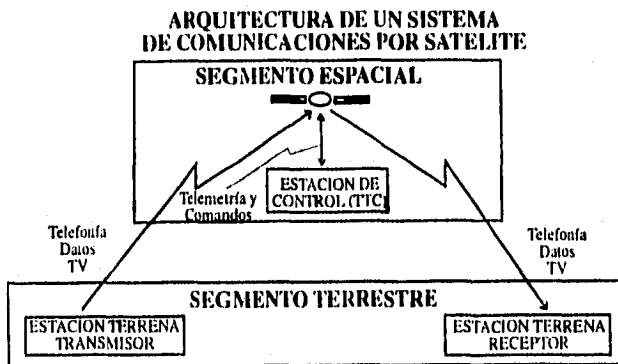


Figura 5.2. Sistema de Comunicaciones Vía Satélite

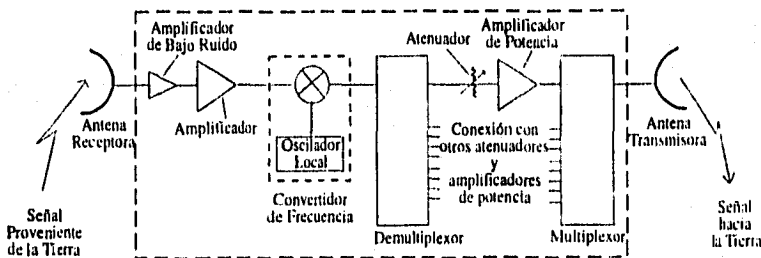


Figura 5.3. Relación entre los Subsistemas de Antenas y Comunicaciones



Figura 5.4. Configuración Básica del Subsistema de Energía Eléctrica

La posición del satélite se determina obteniendo los parámetros siguientes:

—Distancia TTAC-Satélite, se mide el retraso de una señal de referencia en la trayectoria Tierra-Satélite-Tierra, con el uso de 6 ó 7 tonos, de varios KHz, modulados en fase.

—Dirección TTAC-Satélite, se mide a partir de ángulos de elevación y azimut de la TTAC para recibir la máxima señal.

Se utilizan múltiples sensores en puntos de prueba, para temperatura, presión, corriente, etc. Se envían comandos para control de atenuadores, propulsores, conmutación de amplificadores, transponders, etc.

8.- Estructural. Consiste de un armazón rígido, resistente y ligero. Soporta fuerzas y aceleraciones en el despegue y la operación en órbita. Soporta cambios térmicos, impactos, radiaciones, etc. Se construye de materiales como aluminio, magnesio, titanio, berilio y acero. Puede también llevar partes hechas con plásticos reforzados con fibras de carbono. Su masa está entre un 10% y un 20% del total del satélite.

Factores y Parámetros Importantes en un Sistema Satelital

PIRE (potencia isotrópica radiada efectiva). Es la medida de la intensidad de la señal que un satélite transmite hacia la Tierra.

G/T (factor de calidad o figura de mérito). Es la relación ganancia a temperatura de ruido, mientras mayor es esta relación, mayor es la capacidad de recepción de una estación terrena.

Eficiencia de la Antena. Es el porcentaje de la señal proveniente del satélite que es efectivamente canalizada hacia el alimentador y el amplificador de bajo ruido.

Ruido de Tierra. Son las señales de microondas perturbadoras generadas por el calor de la Tierra y detectadas por la antena.

Ruido Térmico. Son señales eléctricas aleatorias causadas por agitación molecular.

Análisis de un Enlace Vía Satélite

El cálculo de un enlace permite determinar la calidad de un canal de transmisión establecido, así como la calidad de dicho enlace en función de las técnicas de modulación empleadas. En forma inversa, partiendo de ciertos objetivos de calidad y disponibilidad, es posible concebir un enlace determinando cada uno de sus parámetros y diseñar entonces el sistema.

A continuación se expondrá el principio de cálculo de un enlace vía satélite. Dentro de este enlace se distinguen dos trayectorias principales: el trayecto Tierra-Satélite (enlace ascendente o de subida) y el trayecto Satélite-Tierra (enlace descendente o de bajada). El satélite es usado únicamente para amplificar, cambiar la frecuencia y reemitir a Tierra las señales que recibe.

Cálculo de Enlace para una Portadora

El punto principal para evaluar la calidad del enlace, es la determinación de la relación señal a ruido obtenida en la estación terminal del enlace, antes de modular la información, relación que está en función de los parámetros característicos del satélite y las estaciones terrenas emisora y receptora.

Para ello se determinan los niveles de señal y de ruido recibidos en cada trayecto del enlace, para después evaluar la relación señal portadora a ruido en el enlace completo. A fin de cuantificar los niveles de ruido de un enlace por satélite, se emplean los términos y relaciones siguientes:

$$\begin{aligned}
 N_0 &= \text{densidad espectral de ruido} & N &= KTB \\
 N &= \text{ruido del enlace} \\
 T &= \text{temperatura de ruido} \\
 K &= \text{constante de Boltzman} & N_0 &= N/B \\
 B &= \text{ancho de banda considerado}
 \end{aligned}$$

Por lo general se emplea la temperatura de ruido, que permite identificar la calidad del canal de transmisión independientemente del ancho de banda en el cual se mide el ruido y de los filtros usados en la recepción.

El nivel de la señal portadora recibido a la entrada del receptor del satélite es:

$$C_a = \text{PIRE} \times A_a \times G_{sat}$$

La relación portadora a temperatura de ruido del enlace ascendente es:

$$(C/T)_a = \frac{\text{PIRE} \times A_a \times G_{sat}}{T_a}$$

donde: PIRE = potencia isotrópica radiada efectiva de la estación terrena hacia el satélite

A_a = Atenuación sufrida por la señal ascendente

T_a = temperatura de ruido de enlace ascendente a la entrada del receptor

G_{sat} = ganancia de la antena receptora del satélite en la dirección de la estación terrena

Similarmente, en el trayecto descendente la relación portadora a temperatura de ruido es

$$(C/T)_d = \frac{\text{PIRE} \times A_d \times G_{vt}}{T_d}$$

donde: A_d = atenuación sufrida por la señal descendente
 T_d = temperatura de ruido del enlace descendente a la entrada del receptor
 G_{vt} = Ganancia de la antena de la estación terrena receptora

La PIRE del satélite es función del nivel de portadora C_a alimentado a la entrada del receptor.

Finalmente, la relación portadora a temperatura de ruido total del enlace es:

$$(C/T)_t = \frac{1}{(T/C)_a + (T/C)_d}$$

Objetivos de Calidad

La calidad de la información en un enlace por satélite está caracterizada por la relación señal a ruido (S/N) después del demodulador en el caso de transmisiones analógicas, y por la tasa de error a nivel de bit (BER) en el caso de transmisiones digitales. Estos parámetros, a su vez, dependen de la relación portadora a temperatura de ruido (C/T) antes del demodulador, la cual nos indica la calidad del canal de transmisión, de las técnicas de modulación empleadas y de las características reales de los equipos utilizados.

El Comité Consultivo Internacional de Radiodifusión (CCIR) define ciertos objetivos de calidad que deben respetarse para cada tipo de servicio y técnica de modulación usada. Conociendo las estadísticas de atenuación debida a las condiciones atmosféricas, se determina la relación portadora a temperatura de ruido a la entrada del receptor de la estación terrena, durante diferentes porcentajes de tiempo especificados en los objetivos de calidad del CCIR. Entonces se puede deducir la relación señal a ruido o la tasa de error a nivel de bit correspondiente y verificar así que el sistema satisfará los criterios de calidad perseguidos.

Sin embargo se requiere que durante el diseño del sistema se consideren algunos márgenes, tomando en cuenta que los parámetros reales de los equipos (demoduladores, filtros, etc.) pueden alejarse un poco de sus características teóricas. Por otra parte se busca prevenir la degradación de la señal o el aumento del ruido.

Objetivos de disponibilidad

Al diseñar un enlace satelital, aparte de los criterios de calidad del servicio, se deben especificar los periodos de tiempo en los cuales se permitirá una interrupción del canal, esto es, la disponibilidad del mismo. A continuación se indican ciertos criterios de disponibilidad aplicables a una transmisión telefónica vía satélite.

Un enlace del servicio fijo por satélite definido entre dos puntos de un circuito de referencia, debe considerarse interrumpido si existe al menos una de las condiciones siguientes en alguno de los extremos de recepción del enlace, por más de 10 segundos consecutivos:

- La señal de información no es recibida en alguno de los dos extremos del enlace
- En transmisiones analógicas, la potencia ponderada de ruido en un punto de nivel relativo 0, es mayor a 10^6 picowatts.
- En transmisiones digitales, el valor de BER es superior a 10^{-3}

Nota: El tiempo total de interrupciones de un canal no debe sobrepasar el 0.2% de un año.

5.2.2. Configuración de la Estación Terrena

Una estación terrena consiste fundamentalmente de una antena y los equipos receptor y transmisor asociados para funcionar con el repetidor del satélite. Las estaciones terrenas de telecomunicaciones nacionales por satélite, que ofrecen servicios limitados (programas de televisión, por ejemplo), pueden ser más pequeñas que las estaciones destinadas a un servicio internacional, y por lo general son menos complejas. Por otra parte, las estaciones terrenas destinadas a fines múltiples, como control de satélites, telefonía, télex y datos, son usualmente más complejas que las estaciones terminales de sistemas de microondas terrestres.

Subsistemas Principales

—Antena.- Su función principal es concentrar la energía en una determinada dirección, asegurando el acoplamiento entre los equipos radioeléctricos y el medio de propagación de las ondas en el espacio libre, procurando una transmisión tan eficaz como sea posible.

—Amplificador de Bajo Nivel de Ruido.- Específicamente amplifica las señales (de alrededor de -100 dB o menos) procedentes del satélite cuidando de eliminar un ruido muy elevado. Entre sus parámetros más importantes se cuentan: la temperatura de ruido (50°K a 4GHz y 150° a 11 GHz) para amplificadores paramétricos, que deberá ser mayor a 50 dB para 'esconder' las contribuciones de ruido de los equipos situados antes; estabilidad, hermeticidad y ancho de banda de 500 MHz.

—Amplificador de Potencia.- Asegura un nivel de potencia conforme a la PIRE requerida. Entre sus principales características tenemos: ganancia y nivel de salida desde docenas de watts hasta algunos watts; se pueden usar dos tipos dependiendo del ancho de banda, tubo de ondas progresivas (TOP) a 500 MHz y Klystron a 40 MHz; además limita el ruido, estabiliza el nivel y tiene un mantenimiento de fácil acceso.

—Convertidores de Frecuencia.- Convierten la frecuencia tanto en la transmisión como en la recepción. En la transmisión, la señal de frecuencia intermedia (70MHz) se cambia a una onda de frecuencia radioeléctrica (6 ó 14 GHz); en la recepción la frecuencia radioeléctrica (4 ó 11 MHz) se convierte en frecuencia intermedia (70MHz).

Entre sus características se presentan: estabilidad en frecuencia, estabilidad del nivel y corrección del tiempo de propagación en función de la frecuencia, pureza de las frecuencias.

—Distribución, Mando y Control.- La cuestión importante en este subsistema es asegurar las interconexiones entre los diferentes subsistemas mediante líneas de radiofrecuencia, de combinador, de divisor y de conmutador; así como ejecutar las órdenes de mando para vigilar el estado de todos los equipos.

—Modulación y Demodulación.- Suministra una onda modulada en frecuencia intermedia a partir de:

- Una señal de banda base multiplexada en frecuencia o en tiempo
- Un canal telefónico (SCPC) en modulación digital (PCM, PSK 4) o en modulación analógica.

De igual manera, realiza la función inversa: demodulación.

5.2.3. Características de los Sistemas Morelos y Solidaridad

Sistema Morelos

Segmento Espacial	2 satélites de la serie HS-376 de la empresa Hughes Aircraft Morelos I y Morelos II
Segmento Terrestre	Estaciones ubicadas en el territorio nacional enlazadas entre sí a través del segmento espacial

Transmisión en Banda C

Número de canales	12 banda angosta (36 MHz)
	6 banda ancha (72 MHz)
Bandas de frecuencia	Recepción: 5.925 - 6.425 GHz
	Transmisión: 3.7 - 4.2 GHz
Antena	Recepción: 71 pulgadas, diámetro reflector
	Transmisión: 71 pulgadas, diámetro reflector

Transmisión en Banda Ku

Número de canales 4 con un ancho de banda de 108 MHz espaciados 124 MHz

Banda de Frecuencias	Recepción:	14.0 - 14.5 GHz
	Transmisión:	11.7 - 12.2 GHz
Antena	Recepción:	Arreglo planar

Sistema Solidaridad

Canales:	Banda C	12 x 36 MHz
		6 x 72 MHz
	Banda Ku	8 x 54 MHz
	Banda L	1

Bandas de Frecuencia	Banda C	Subida	5.9 - 6.4 GHz
		Bajada	3.7 - 4.2 GHz
	Banda Ku	Subida	14.0 - 14.5 GHz
		Bajada	11.7 - 12.2 GHz
	Banda L	Subida	4 subbandas dentro de 1528 - 1559 MHz
		Bajada	4 subbandas dentro de 1629.5 - 1660.5 MHz

5.3. Sistemas de Acceso Múltiple

Generalidades

Los sistemas de conmutación telefónicos y los multiplexores de datos se diseñan basándose en el hecho de que no todos los teléfonos o terminales de datos que pueden enviar información lo harán al mismo tiempo, o desde otro punto de vista, el usuario del teléfono o de la terminal de datos no necesita o no desea pagar por la capacidad total del canal.

Estas condiciones también se aplican a los usuarios de sistemas satelitales. Por ello, se han concebido diversos métodos para poder compartir el satélite y los recursos de las estaciones terrenas entre varios usuarios, de modo que parezca que el canal de transmisión está dedicado a cada usuario.

Dentro de una red de comunicaciones espaciales, un sistema mediante el cual un gran número de estaciones terrenas pueden acceder a un satélite común, y establecer enlaces independientes de comunicación a un mismo tiempo, se conoce como sistema de acceso múltiple.

Entonces se entiende por multiacceso o acceso múltiple a la posibilidad ofrecida a un elevado número de estaciones terrenas, de interconectar simultáneamente sus respectivos enlaces de transmisión a través de un mismo satélite.

Las dos mejores técnicas o métodos de acceso múltiple usadas por la mayoría de las redes de satélites, son el acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) y el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA).

La técnica de canal único por portadora en multiacceso de asignación por demanda (SCPC/DAMA) es una de las alternativas en FDMA, tiene gran aplicación cuando se desea interconectar estaciones terrenas de muy baja capacidad o demanda de tráfico, como fue el caso de la compañía Mexicana de Aviación. Con canales de asignación por demanda, se reduce el número de canales de satélite, así como el de modems, optimizando el uso del segmento espacial.

Dentro del proceso de selección de un sistema de acceso múltiple a ser adoptado por una red, existen algunas consideraciones dignas de tomarse en cuenta:

—cuando un cierto número de estaciones terrenas se ubican dentro del área de cobertura de un satélite, sus características operativas no son necesariamente iguales y sus requerimientos en cuanto al número de canales puede ser diferente. Por tanto, se debe diseñar un sistema que permita el uso óptimo de la potencia y ancho de banda del transponder del satélite.

—al canalizar un elevado número de portadoras dentro de un transponder, se presenta un problema de intermodulación debido a la no linealidad del tubo de ondas progresivas (TOP). Entonces, para minimizar la influencia de este efecto, se debe operar el TOP en su región lineal. Lo que disminuye su potencia utilizable. Para eliminar totalmente la intermodulación se debe usar un sistema de acceso múltiple por división de tiempo, el cual sólo cursa una portadora a la vez en el transponder.

Desde el punto de vista de la utilización de un circuito, se clasifican los sistemas de acceso múltiple en:

a) Acceso múltiple en modo preasignado, en el cual los circuitos requeridos por dos estaciones terrenas se asignan permanentemente para su uso exclusivo.

b) Acceso múltiple de asignación por demanda, en donde los circuitos se asignan a un par de estaciones en el momento en que lo solicitan, de entre un grupo de circuitos comunes disponibles.

Dependiendo de la utilización de la frecuencia, el acceso múltiple puede ser:

a) Acceso múltiple por división (distribución) de frecuencia (FDMA), en el cual cada una de las estaciones tiene una frecuencia portadora asignada para su uso exclusivo.

b) Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), en el cual todas las estaciones emplean una portadora con la misma frecuencia mediante la distribución en el tiempo.

Con respecto a la modulación usada por las portadoras, ésta puede ser analógica o digital. Entre las analógicas se emplea la modulación en frecuencia (FM) y la modulación en amplitud con supresión de banda lateral (AM-SSB); mientras que la digital puede ser modulación por pulsos codificados (PCM) o por desplazamiento y llaveo de fase (PSK).

Cuando se desea enviar más de una señal de información dentro de una misma portadora, se debe recurrir a técnicas de multiplexaje. Dentro de las comunicaciones espaciales existen dos técnicas principales que son el multiplexaje por división de frecuencia (FDM) y el multiplexaje por división en el tiempo (TDM).

5.3.1. Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA)

Es el proceso empleado actualmente en las redes operacionales de telecomunicaciones. Cada estación de origen transmite en dirección del satélite una portadora de frecuencia propia a la estación y modulada por el conjunto de los canales telefónicos destinados a los diferentes destinatarios. Las portadoras transmitidas por las estaciones terrenas se caracterizan por su frecuencia radioeléctrica y su ancho de banda, esta última depende del número de canales transmitidos y el nivel de la portadora es aproximadamente proporcional al número de canales. Las portadoras se reparten dentro de los diferentes transponders del satélite y se yuxtaponen con el mínimo de separación posible.

Una extensión de esta técnica de acceso es el que se conoce como SCPC o un solo canal por portadora, donde cada portadora contiene un único canal telefónico o de datos. Podemos decir que esta técnica es analógica.

El acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) es la técnica de uso más frecuente en los sistemas de comunicaciones por satélite. Permite emplear en común los recursos que proporcionan los satélites mediante la asignación de frecuencias diferentes a las distintas estaciones terrenas. Este sistema se usa actualmente para comunicaciones internacionales. Una desventaja es el paso simultáneo de muchas señales por el transponder del satélite, lo que origina ruido de interferencia debido a la intermodulación entre estas señales, provocada por la no linealidad del transponder. Para evitar los efectos de la intermodulación se debe mantener la potencia de salida de transmisión, considerablemente abajo del punto de saturación.

El sistema FDMA fue de los primeros empleados en las comunicaciones vía satélite, ya que las técnicas y los equipos se encontraban ampliamente probados en los sistemas de microondas terrestres. Este sistema es el más utilizado. Aunque se le asocia generalmente a multiplexaje por división de frecuencia (FDM) y modulación de frecuencia (FM) de la

portadora, se combina con otros tipos de multiplexaje o modulación, como el multiplexaje por división de tiempo (TDM), o bien sin multiplexaje alguno como es el caso SCPC (monocanal por portadora).

En el sistema FDMA, se asigna a las diferentes señales, canales de frecuencia separados que no se traslapan, y los productos de intermodulación del amplificador de potencia se mantienen en niveles aceptables mediante un adecuada selección de las frecuencias o la reducción de los niveles de potencia de entrada, o ambos, a fin de permitir un funcionamiento cuasilineal. Se dedica especial atención a los efectos del transponder, ya que la potencia de éste es más crítica y costosa que la de las estaciones terrenas. Típicamente, se tendría que reducir la potencia de salida media del satélite en un 50% ó más, para limitar la intermodulación a un nivel aceptable.

La atribución de frecuencias portadoras en el transponder usado para FDMA depende de la distorsión de la señal, la interferencia de los canales adyacentes y los efectos de intermodulación causados por la no linealidad del transponder. El ancho de la banda de guarda necesaria depende en parte de las bandas laterales residuales de las señales transmitidas. Para las bandas de guarda entre frecuencias adyacentes deben tenerse en cuenta las derivas de frecuencia de los osciladores del satélite y de la estación terrena.

En la figura 5.5 puede observarse el proceso de multiplexaje de un sistema telefónico multiplex tradicional (FDM), el cual puede resumirse en tres etapas principales:

- Doce canales telefónicos se trasponen en frecuencia integrando lo que se conoce como grupo básico, en un rango de frecuencia de 60 a 108 KHz.
- Posteriormente, cinco grupos básicos convertidos en frecuencia componen un supergrupo básico en el rango de 312 a 552 KHz.
- Convirtiendo en frecuencia este supergrupo básico pueden multiplexarse más canales telefónicos, si son requeridos.

En un sistema FDM convencional, en un enlace terrestre, los canales telefónicos multiplexados son acomodados por encima de los 60 KHz de la frecuencia de banda base. Sin embargo, en un sistema por satélite, un grupo básico se coloca en la banda de 12 a 60 KHz para emplear más eficientemente el ancho de banda de las frecuencias de banda base.

En el sistema multiplex (FDM) por satélite, dadas las características no lineales de la densidad espectral de ruido después de la demodulación, se presenta una disparidad en la calidad de los canales ubicados en la parte alta de la banda de frecuencias con respecto a los de la parte inferior. Para compensar este desequilibrio, en la estación transmisora la modulación en frecuencia se hace a través de una red filtrante de pre-acentuación (o pre-énfasis), la cual favorece los componentes espectrales de frecuencia elevada. En la estación receptora las señales telefónicas demoduladas se pasan por una red de desacentuación (de-énfasis), que tiene una característica inversa cuya función es ecualizar los niveles de todos los canales. Mediante esta técnica de pre-acentuación-desacentuación, es posible

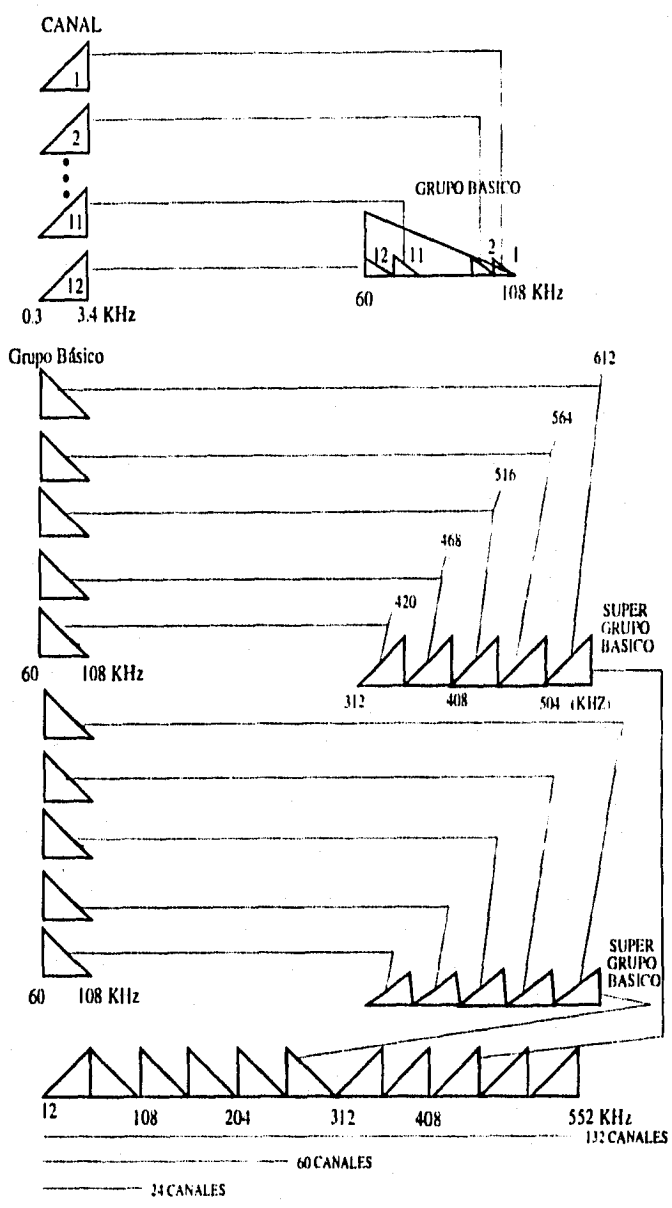


Figura 5.5. Proceso de Multiplexaje de Canales Telefónicos

mejorar la relación señal a ruido de las señales telefónicas del orden de 4 dB.

Para realizar el acceso múltiple con FDM-FM, las estaciones terrenas emplean sus respectivas frecuencias portadoras individuales multiplexadas por sus canales telefónicos. Cuando muchas estaciones terrenas accedan un mismo transponder, los productos de intermodulación aumentan provocando problemas en las señales. Buscando mejorar esta situación, se emplea un sistema de portadoras multi-destino, en el cual una portadora agrupa todos los canales telefónicos transmitidos desde una estación terrena al satélite, y en cada una de las estaciones receptoras después de demodular las señales, sólo se toman los canales destinados a ellas. De aquí que se elimina la intermodulación en el amplificador de cada estación terrena transmisora, ya que únicamente transmitirá una portadora, y en el TOP del satélite se disminuye la intermodulación ya que sólo amplificará una portadora por cada estación terrena.

Sin embargo, hay que considerar que el número de canales por estación es diferente, por lo que la potencia de las portadoras no es la misma y una portadora pequeña (pocos canales) se verá más afectada por la intermodulación. Para minimizar esto, se limita el número de canales por portadora.

5.3.2. Acceso Múltiple de Asignación por Demanda (DAMA)

Sistemas de Portadora Monocanal

Un caso particular del sistema FDMA es el sistema SCPC (Single Channel Per Carrier) en el cual cada una de las portadoras lleva un canal único. Este sistema permite aprovechar plenamente las posibilidades de acceso múltiple al satélite puesto que cada canal accede individualmente al satélite ocupando una banda de frecuencia mínima (del orden de 45 KHz). Su mayor aplicación está en los casos de tráfico reducido, es decir pocos canales por estación terrena.

Cada canal modula una portadora en frecuencia intermedia (FI), a una frecuencia propia situada en la banda de 52 a 88 MHz, ocupando un ancho de banda reducido (algunas decenas de KHz). Después de agruparse, las diferentes portadoras en FI se transponen en radiofrecuencia, se amplifican y se transmiten al satélite.

Cabe mencionar algunas particularidades del sistema SCPC:

- Para economizar la potencia disponible en el satélite, la portadora en la estación terrena se activa únicamente en presencia de voz o datos.
- Las frecuencias de transmisión de cada portadora pueden ser fijas (modo preasignado entre dos estaciones) o bien se asignan a petición (asignación por demanda) de entre un grupo de frecuencias disponibles y mediante un órgano de gestión conocido como DAMA (Demand Assignment Multiple Access).

—Las portadoras pueden modularse indistintamente con técnicas analógicas o digitales. La modulación en frecuencia es la más empleada dentro de las analógicas, mientras que la digital puede ser mediante manipulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) o desplazamiento de fase (PSK).

Un enlace con acceso múltiple de asignación por demanda entre dos estaciones terrenas se establece sólo cuando se necesita efectuar una comunicación entre ellas.

El uso de la técnica de acceso múltiple de asignación por demanda hace que cada transponder del satélite se asemeje a un conmutador telefónico, esto es, un canal es asignado solamente cuando hay tráfico disponible para ser transmitido. Esta es la diferencia con las técnicas FDMA y TDMA en las cuales los canales son asignados a los usuarios permanentemente, aun cuando no haya demanda de tráfico. El método DAMA es una variante de FDMA, en el que una parte o todo el transponder es dividido en canales individuales que pueden ser accedidos por todas las estaciones terminales terrenas que son servidas por el sistema.

Sistema SCPC/DAMA

Este sistema consiste en que a cada canal de voz o datos se le asigna una frecuencia portadora de RF, misma que es modulada por la señal de voz o datos en FM o PSK. Dado que las llamadas son aleatorias, el espectro del transponder se puede aprovechar eficientemente si las frecuencias portadoras de RF se asignan temporalmente a las estaciones terrenas, esto es, únicamente cuando tengan información que enviar.

Cuando una estación **A** termina de transmitir su información, la frecuencia de portadora que se le habrá asignado a un canal pasa a un '**banco de frecuencias**' controlado por una computadora central. Si otra estación **B** desea establecer un enlace, la computadora central le asignará una de las frecuencias disponibles en el banco, posiblemente le otorgue la misma frecuencia que anteriormente habrá utilizado la estación **A**. En el caso de que no haya canales disponibles por estar ocupados, la computadora central se encargará de enviar la señalización correspondiente para indicar que no hay acceso por saturación de canales.

En estos sistemas, provistos con conmutación accionada por voz y/o datos, los efectos de intermodulación son reducidos. Ello se debe a que la portadora entra en actividad en un modo aleatorio y por tanto, es también aleatoria. Esto es causa de una reducción cercana a 3 dB en el nivel de intermodulación.

5.3.3. Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA)

En esta técnica hay una portadora sencilla y cada estación terrena está en posibilidad de transmitir una señal de la misma frecuencia, pero a intervalos de tiempo.

El sistema de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) difiere del proceso FDMA y SCPC, en que es totalmente digital y emplea la transmisión intermitente, puesto que las estaciones terrenas comparten el mismo canal del transponder del satélite; cada estación terrena debe realizar una temporización cuidadosa.

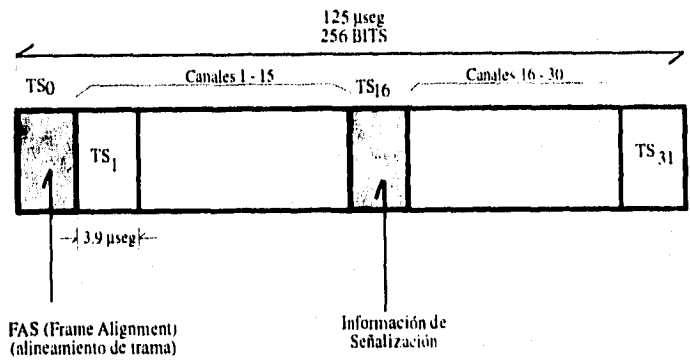
El TDMA es un método digital de acceso múltiple que permite al satélite recibir las transmisiones de distintas estaciones terrenas en intervalos de tiempo separados (ráfagas) entre los que no hay superposición y en los cuales se envía la información. Este método evita la generación de productos de intermodulación en los transponders no lineales.

Cada estación terrena debe determinar la temporización y la distancia del sistema al satélite, con el fin de que las señales transmitidas lleguen en los intervalos de tiempo adecuados.

Un sistema TDMA trabaja como un multiplexor por división de tiempo (TDM) para transmisiones de voz y datos, con cada transponder del satélite con una tasa de datos entre 10 y 100 Mbps. Mientras que una estación está enviando (enlace de subida) tiene disponible la capacidad total de datos del transponder, pero debe parar su transmisión por un corto periodo de tiempo para permitir a alguna otra estación acceder al transponder. La información fluye hacia el satélite en tramas (secuencias de bits), cada trama conteniendo una ráfaga de información desde cada estación terrena con acceso al transponder. Se asigna a cada canal un espacio o ranura de tiempo (time slot) específico dentro de la trama de transmisión. Un formato de trama típico se muestra en la figura 5.6. La suma de las duraciones de las ráfagas individuales no iguala totalmente al tiempo de la trama, con el propósito de dar algunos tiempos de guarda entre ráfagas.

La temporización para mantener las ráfagas separadas, es un gran problema y se complica por dos factores:

- Los satélites no están perfectamente estacionarios en su órbita
- Los tiempos de viaje de la señal entre diferentes estaciones terrenas y el satélite, son diferentes dados los distintos rangos de inclinación a distancias diferentes.



TDM (Trama de Transmisión E1)

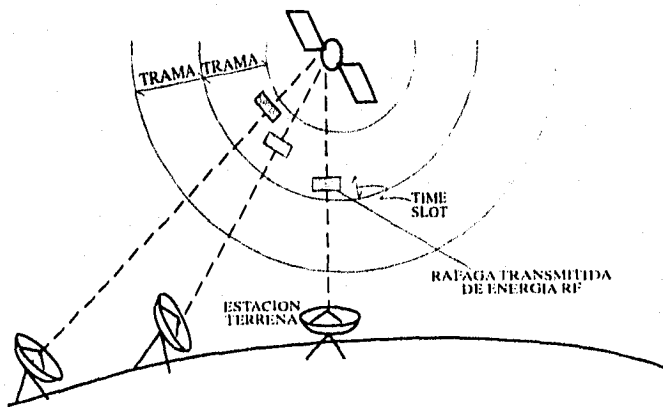


Figura 5.6. Acceso Multiple por División de Tiempo

CONCLUSIONES

El mundo actual de las comunicaciones tiene por objetivo resolver el siguiente problema: codificar información mediante el uso de algún tipo de código estándar, convertirla a una forma que pueda ser transmitida sobre un determinado canal, realizar su transmisión sin errores, y revertir el proceso en el punto receptor para recuperar la información original.

Para lograr este propósito se han desarrollado diversos sistemas de comunicaciones, los cuales presentan ventajas y desventajas, dependiendo de varios factores: el tipo de información que se desea transmitir (voz, datos, texto, video, etc.); los requerimientos de la aplicación del sistema; los costos de instalación, mantenimiento y operación del sistema; y finalmente la eficiencia y seguridad del sistema.

Para que la comunicación sea útil, se necesitan cuatro elementos, a saber: un mensaje a ser comunicado, un emisor del mensaje, un medio o canal sobre el cual se envía el mensaje, y un receptor de la información.

Los sistemas de comunicación pueden ser analógicos o digitales. Hoy en día, los sistemas de comunicaciones digitales han ganado terreno a los analógicos gracias a los avances tecnológicos y a la reducción de los costos de componentes digitales.

Para manejar información analógica en un sistema de comunicación digital, la señal analógica es sometida a un proceso de Formateado y Codificación que transforma la información de origen en símbolos digitales. Con todo, los símbolos digitales deben, a su vez, ser transformados en formas de onda compatibles con las características del canal de comunicación, este proceso se denomina Modulación. Por otro lado, la modulación permite agrupar varias señales a través del mismo medio de transmisión, es decir, se puede compartir el medio de transmisión por varios usuarios al mismo tiempo. Esto se conoce como multiplexaje.

Las técnicas de multiplexaje son utilizadas en los sistemas de comunicación vía satélite para realizar los métodos de acceso múltiple, que pueden ser por división de frecuencia o por división de tiempo.

Los sistemas de comunicaciones vía satélite permiten una comunicación rápida y confiable, ya sea a nivel internacional o a nivel nacional, impulsando el desarrollo de sistemas de comunicación tales como: telefonía, televisión, télex, informática, telegrafía, facsímil y radiodifusión.

El aprovechamiento de la cobertura de un sistema de comunicaciones vía satélite, constituye la gran herramienta para el mejoramiento de las redes de comunicación, tanto del sector público como del privado.

Los satélites se han convertido en uno de los medios más valiosos y seguros para la comunicación de señales digitales que presentan numerosas e importantes ventajas sobre las comunicaciones analógicas.

Las telecomunicaciones y la teleinformática se encuentran estrechamente unidas, en esta era de la información no es posible una separación práctica entre ellas. En México, el uso y aplicaciones de la teleinformática se han ido expandiendo significativamente. Lo cual ha ocasionado una elevada demanda de medios de transmisión eficientes y altamente confiables, cuyo fin sea la conducción y conmutación de señales digitales, bajo diferentes modalidades y rangos de velocidad, desde y hacia múltiples lugares de nuestro territorio.

Es en este ámbito, que los sistemas de satélites Morelos y Solidaridad vienen a jugar un papel muy importante, gracias a su capacidad para manejar la información en grandes distancias.

GLOSARIO

Amplificador Dispositivo utilizado para incrementar la fuerza de una señal analógica

ASCII (American Standard Code for Information Interchange) Un código de 7 bits establecido por el Instituto de Estándares Nacional Americano para lograr compatibilidad entre servicios de datos

Analógica (Señal) Una señal, tal como la voz o la música, que varía de manera continua

Ancho de Banda El rango de frecuencias entre las frecuencias más baja y más alta que pasan a través de un componente, circuito o sistema, con atenuación aceptable

Atenuación La diferencia entre la potencia transmitida y la potencia recibida, debida a pérdidas de transmisión a través del equipo, las líneas, o cualquier otro dispositivo de comunicación

Baud Una unidad de velocidad de señalización igual al número de eventos de señal por segundo. No necesariamente la misma que bits por segundo

Banda Base La banda de frecuencia ocupada por una señal única o compuesta en su forma original o no modulada

Bit Contracción de binary digit (dígito binario). La unidad más pequeña de información. Un bit representa la elección entre un valor 1 o un valor 0 (marca o espacio en terminología de comunicaciones)

Bits (Tasa de) La velocidad a la cual los bits son transmitidos, usualmente expresada en bits por segundo. No necesariamente la misma que tasa de baud.

bps (bits por segundo) Una medida de la tasa de transferencia de información de un canal de datos

Byte Una cadena de elementos binarios operados como una unidad, generalmente son de 8 bits

Carácter Una letra, una cifra, número, signo de puntuación, o cualquier otro símbolo contenido en un mensaje o usado en una función de control

Código Un juego de reglas no ambiguas, que especifican el modo en que los caracteres pueden ser representados

DCE (Data Communications Equipment) Equipo de comunicación de datos. Dispositivo que provee las funciones requeridas para establecer, mantener y terminar una conexión, provee también la conversión de señales necesaria para la comunicación entre el equipo terminal de datos (DTE) y la línea telefónica o circuito de datos

DTE (Data Terminal Equipment) Una computadora o máquina que provee datos en forma de señales digitales en su salida

Decibel (dB) Medida logarítmica de la razón entre dos potencias P_1 y P_2 . La ecuación es $dB = 10 \log_{10} P_2/P_1$

Demodulación El proceso de recuperación de datos desde una onda portadora modulada. Función inversa a la modulación

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Digital (Señal) Una señal discreta o discontinua; una cuyos varios estados son identificados con niveles o valores discretos

Enlace Un circuito o camino de transmisión, incluyendo todo el equipo, entre un emisor y un receptor

Espacio (Space) Uno de los dos posibles estados de un elemento de información binario. El circuito abierto o estado de no corriente de una línea de teleimpresora. Véase marca

Filtro Red diseñada para transmitir señales eléctricas cuyas frecuencias caen dentro de uno o más anchos de banda y para atenuar señales de otras frecuencias

FDM (Frequency Division Multiplexer) Dispositivo que divide el rango de frecuencia de transmisión disponible en bandas más delgadas, cada una de las cuales es usada para un canal separado

FSK (Frequency Shift Keying) Una forma de modulación de frecuencia comúnmente usada en modems de baja velocidad, en la cual los dos estados de la señal son transmitidos como dos frecuencias separadas

Interface Una frontera compartida definida por características de interconexión físicas comunes, características de señal y significados de señales intercambiadas

Intermodulación (Ruido de) Frecuencias espurias, tales como la suma y diferencia de frecuencias, que son productos de frecuencias transmitidas a través de un circuito no lineal

Jitter Tendencia hacia la falta de sincronización causada por cambios mecánicos o eléctricos

Línea (1) Un circuito entre una terminal de cliente y una oficina central (2) La porción de un sistema de transmisión, incluyendo el medio de transmisión y repetidores asociados, entre 2 puntos terminales

Marca (Mark) Uno de los dos posibles estados de un elemento de información binaria. El circuito cerrado y estado ocioso en un circuito de teleimpresora. Véase espacio (space)

Modem (MODulator/DEModulator) Un tipo de DCE que en el extremo transmisor convierte los datos digitales a una señal analógica para transmisión en circuitos telefónicos. En el extremo receptor convierte la señal analógica a una forma digital

Modulación El proceso de variar alguna característica de la onda portadora conforme al valor instantáneo o muestras de la señal inteligente a ser transmitida. Amplitud, frecuencia y fase son las características más comúnmente variadas

Multiplexar Intercalar o transmitir simultáneamente dos o más mensajes en un solo canal

PC (Personal Computer) Computadora personal. Dispositivo con potencia de procesamiento basada en un microprocesador y diseñado primariamente para ser usada por una persona

Portadora Una señal adecuada para ser modulada por otra señal que contiene la información a transmitir. La portadora es por lo general una onda senoidal para sistemas analógicos

Protocolo Reglas para comunicación entre procesos similares, proveyendo un medio de control para comunicar ordenadamente la información entre estaciones sobre un enlace de datos

Puerto Una interface sobre un computador configurado como equipo terminal de datos y capaz de conectarse a un modem para comunicación con una terminal de datos remota

Repetidor Componente de un sistema de comunicación que amplifica o regenera las señales para compensar las pérdidas del sistema

Ruido Señales eléctricas aleatorias, introducidas por los componentes del circuito o perturbaciones naturales, las cuales tienden a generar errores en la transmisión

Símbolo La representación gráfica de alguna idea que es usada por la gente. Las letras y los números son símbolos

Start Bit (bit o elemento de inicio) El primer bit o elemento transmitido en la transmisión asincrónica de un carácter para sincronizar al receptor

Stop Bit (bit o elemento de parada) El último bit o elemento transmitido en la transmisión asincrónica de un carácter para regresar el circuito a la condición de reposo o no ocupado

TDM (Time Division Multiplexer) Dispositivo que permite la transmisión de dos o más canales de datos independientes sobre un único circuito de alta velocidad por medio de la intercalación de datos desde cada canal en el circuito, por distribución de tiempo

Transmisión Asíncrona Transmisión en la cual cada carácter de información es individualmente sincronizado, generalmente por el uso elementos de inicio (start) y parada (stop)

Transmisión Serial Método de transferencia de información en el cual los bits son enviados en secuencia, uno tras otro

Transmisión Síncrona Transmisión en la cual los instrumentos de envío y recepción son operados continuamente en substancialmente la misma frecuencia, y en la cual la relación de fase deseada puede mantenerse por medios de corrección

BIBLIOGRAFIA

Fundamentos de Comunicaciones Digitales.- Teledata.- 1993

Seminario de Telecomunicaciones. Sistemas de Comunicación Vía Satélite.- Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas.- Ing. Gonzalo Covarrubias Olivares, Ing. José Luis Ramírez Delgado

Trabajo de Seminario de Titulación: Aplicación del Sistema de Satélites Morelos a la Infraestructura de Red de Voz y Datos de la Compañía Mexicana de Aviación.- IPN, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.- 1986

Understanding Data Communications.- Gilbert Held.- Sams Publishing.- 1994

Apuntes tomados durante el Seminario.-