



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**"SISTEMAS DE TRANSMISION SATELITAL PARA VOZ Y  
DATOS CON TECNOLOGIA VSAT"**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**  
P R E S E N T A :  
**EDGAR CONTRERAS VAZQUEZ**

ASESOR: ING. FERNANDO PATLAN CARDOSO  
COASESOR: ING. ARMANDO TABOADA BALDERAS

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2005

m 344831



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicarle a usted que revisamos la TESIS:

Sistemas de transmisión satelital para voz y datos con  
tecnología VSAT.

que presenta el pasante: Edgar Contreras Vázquez  
con número de cuenta: 09016740-9 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 VOTO APROBATORIO.

**A T E N T A M E N T E**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 21 de Abril de 2005

PRESIDENTE Fís. José de Jesús Cruz Guzmán

VOCAL Ing. Aquiles Reyes Flores

SECRETARIO Ing. Fernando Patlán Cardoso

PRIMER SUPLENTE Ing. Oscar Cervantes Torres

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Albino Arteaga Escamilla

*A Dios:*

*A ti que siempre caminas junto a nosotros  
perdonando nuestros errores  
y aceptándonos como somos.*

*Nunca me olvidaste,  
al contrario, estuviste  
atento a mis plegarias,  
llevándome por el camino  
de la honestidad y la verdad.*

*Te agradezco el haberme permitido  
llegar a este maravilloso momento,  
suplicándote una vez mas,  
guíes mi andar y la de mi familia.*



*A mis padres:*

*En estas líneas es imposible tratar de agradecer todo lo que han hecho por mí, sin embargo, tratare de dar una pequeña muestra de mi amor, admiración y respeto.*

***“para ti mamá”***

*Doy gracias porque al nacer,  
te eligió Dios, como mi Madre,  
porque eres de mi vida,  
Mamá, la mejor parte...*

*Gracias, por haberme dado,  
lo mejor de tu existencia,  
y Gracias por estar hoy,  
siempre tan atenta...*

*Gracias por entenderme,  
y porque no me reprendas,  
y porque de mi tristeza  
te des perfectamente cuenta.*

*Un inmenso Gracias,  
por tenerte cerca,  
y porque me ayudas,  
en todas mis penas*

*Como poder agradecerle a una  
Madre lo que hace por nosotros,  
como pagarle, como decirle lo que  
significa para un hijo.*

***TE AMO Luz María Vázquez  
Hernández  
Y recuerda siempre serás mi  
AMOR ETERNO.***

***“Para ti papá”***

*Agradecimiento a ese hombre  
ese hombre que todo nos ha dado  
que casi de sol a sol  
ha trabajado  
y que su único afán  
es sacar a su familia adelante.*

*Agradezco  
su amor, su bondad y que en los  
momentos más difíciles  
además de ser un padre  
es un amigo, que en él se puede confiar.*

*Gracias por los consejos  
que me has dado  
y que no podré olvidar.*

*Nunca podré pagarte todo lo que has  
hecho por mí. GRACIAS  
José Pablo Contreras Luna  
Mi padre.*

***A mis hermanos:***

*Martha eres una fuente inagotable de inspiración para mí, por que eres fuerte, por que cumples tus objetivos que te propones, por que nos ayudas en tus posibilidades y por que ¿quién es perfecto? Gracias por ser como eres y recuerda, que contarás conmigo siempre.*

*Ricardo quizás las diferentes situaciones no nos permitió tratarnos más pero te respeto mucho y te quiero. Gracias por el apoyo que siempre he tenido de ti y este triunfo es también tuyo. Esperando que aun no hayas cerrado la posibilidad de seguir adelante en lo académico y que contarás con mi apoyo total siempre GRACIAS.*

*Raúl quizá la persona con quien más me identifico y admiro por tu forma de ser, por tu carácter y por tu inteligencia. Un agradecimiento muy especial por tu gran apoyo para hacer esto realidad, ya que fuiste parte fundamental en este proyecto y este triunfo es de ambos. GRACIAS por tu apoyo y cuenta siempre conmigo.*

*Daniel tu camino es largo, pero no claudiques. Nunca pierdas de vista tus objetivos, sin embargo, identifica tus prioridades a corto y a largo plazo. Deseo de todo corazón que realices tus metas como ahora lo hago yo; y si a veces te doy dolores de cabeza es por que te quiero y deseo lo mejor para ti, créeme que algún día lo entenderás. Gracias nani.*

***Para una personita muy especial:***

*Chaparrito, gracias Ale por mostrarme lo difícil que es guiar a un niño y así admirar más a mis padres, perdóname si a veces pierdo la cabeza, pero creo que no estoy preparado. Pero ten la seguridad que siempre estaré contigo. ¡Te quiero mucho!*

**A la UNAM:**

*Gracias por abrirme las puertas de todo un mundo de conocimientos, lo que me enseñaste lo desempeñare con dignidad y respeto para enaltecer cada día más el nombre de la UNAM.*

*“La máxima casa de estudios”*

**A mis profesores:**

*Gracias por compartir sus conocimientos, por sus regaños, por sus palabras de aliento y confianza que nos brindaron cada día de formación. Hoy que termina este ciclo un agradecimiento y un profundo respeto, ya que la UNAM es grande por sus estudiantes pero principalmente por sus profesores.*

**Al Ing. Fernando Patlán Cardoso:**

*Gracias por apuntarme, por apoyarme y por guiarme en el desarrollo de este trabajo que no hubiese sido posible sin su participación GRACIAS.*

**A la FES Cuautitlán:**

*Me recibiste en los últimos años de formación académica e hiciste posible la culminación de una de mis metas, y no hay mejores palabras que un agradecimiento sincero y una completa admiración GRACIAS.*

**A mis asesores:**

*Gracias por brindarme algo de su tiempo, por revisar y criticar este trabajo, que sirvió no solo para mejorar el trabajo si no para mejorar como persona Gracias.*

**A TELECOMM:**

*Gracias por ser parte importante en mi preparación laboral, por que me brindaron la confianza necesaria para afrontar los retos que se presenten en el desempeño de mi vida laboral Gracias.*

***A los Ing. de TELECOMM:***

*Magníficas personas que tuve la fortuna de conocer, les doy las gracias por su apoyo, por compartir sus conocimientos y sus experiencias, pero sobre todo por su amistad, GRACIAS Ing. Juan Damazo Ramirez, Ing. Gregorio Rios Alvarado y en especial al Ing. Armando Taboada Balderas quien participo activamente en el desarrollo de este trabajo, además de ser mi coasesor GRACIAS.*

# *Reconocimiento*

*Al Ing. Armando Taboada Balderas.*

*Por su colaboración  
dedicación y tiempo  
en la elaboración de este  
trabajo.*

*El Ing. Armando Taboada Balderas es  
Ingeniero electrónico egresado de la  
Universidad Autónoma Metropolitana.  
Actualmente esta a cargo de la  
RED VSAT en TELECOMM*



ÍNDICE.

Prefacio ..... I  
Introducción ..... V

**CAPÍTULO I: (Antecedentes de las comunicaciones)**

1.1 Antecedentes de las comunicaciones ..... 2  
1.2 Conceptos básicos de las comunicaciones ..... 5  
    1.2.1 El espectro electromagnético ..... 5  
    1.2.2 Ancho de banda y capacidad de la información ..... 7  
    1.2.3 Modos de transmisión ..... 7  
        • Simples (SX) ..... 8  
        • Half-duplex (HDX) ..... 8  
        • Full-duplex (FDX) ..... 8  
        • Full/full-duplex (F/FDX) ..... 8  
    1.2.4 Modulación ..... 8  
        • Modulación en Amplitud ..... 9  
        • Modulación Angular ..... 10  
        • Modulación Digital ..... 12  
            ⇒ Modulación por desplazamiento en amplitud (ASK) ..... 13  
            ⇒ Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) ..... 13  
            ⇒ Modulación por desplazamiento de frecuencia (BFSK) ..... 14  
            ⇒ Modulación por desplazamiento de fase cuaternaria (QPSK) ..... 15  
            ⇒ Modulación PSK de ocho fases (8-PSK) ..... 16  
            ⇒ Modulación PSK de dieciséis fases (16-PSK) ..... 17  
            ⇒ Modulación QAM de ocho (8-QAM) ..... 18  
            ⇒ Modulación QAM de dieciséis (16-QAM) ..... 20  
    1.2.5 Eficiencia del ancho de banda ..... 20



1.2.6	Probabilidad de error y tasa de error de bit .....	21
1.2.7	Transmisión digital .....	22
1.2.8	Modulación de pulsos .....	22
1.2.9	Modulación de pulsos codificados (PCM) .....	24
•	Circuito de muestreo y retención .....	24
•	Tasa de muestreo .....	25
•	Códigos PCM .....	25
1.2.10	Comunicación de datos .....	27
•	Configuraciones y topologías de circuitos de comunicaciones .....	28
•	Control de errores .....	28
⇒	Detección de errores .....	28
⇒	Corrección de errores .....	31
•	Sincronización .....	32
1.2.11	Técnicas de acceso .....	34
•	Acceso múltiple por división de frecuencias (FDMA) .....	36
•	Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) .....	37
•	Acceso múltiple por división de códigos (CDMA) .....	38
1.2.12	Protocolos .....	39
•	TCP/IP .....	40

## **CAPÍTULO II: (Componentes de transmisión vía satélite)**

2.1	Historia de los satélites .....	46
2.2	Satélites Geoestacionarios .....	47
2.3	Patrones Orbitales .....	47
2.4	Ángulos de vista .....	50
2.4.1	Elevación .....	51
2.4.2	Azimut .....	52
2.5	Tipos de satélites .....	52



2.6	Espaciamiento y asignación de frecuencia .....	53
2.7	Huella satelital .....	55
2.8	Antenas .....	57
2.9	Términos y definiciones .....	58
2.9.1	Patrón de Radiación .....	58
2.9.2	Campos cercanos y lejanos .....	61
2.9.3	Resistencia de radiación y eficiencia de antena .....	61
2.9.4	Ganancia directiva y ganancia de potencia .....	62
2.9.5	Potencia radiada isotrópica efectiva .....	63
2.9.6	Polarización de la antena .....	65
2.9.7	Ancho del haz de la antena .....	65
2.9.8	Ancho de banda de la antena .....	66
2.9.9	Antenas de UHF y microondas .....	66

### **CAPÍTULO III (Componentes de la red satelital)**

3.1	Segmento espacial .....	75
3.1.1	Componentes satelitales .....	75
3.1.2	Modelos de enlace del sistema satelital .....	76
•	Modelo de subida .....	76
•	Transponder .....	77
•	Modelo de bajada .....	78
3.1.3	Diseño de enlace vía satélite .....	78
3.2	Segmento terrestre .....	82
3.2.1	Procesador satelital HSP .....	83
•	Modulador .....	84
•	Receiver Cage .....	84
•	Power Splitter .....	86
•	CPU Cage .....	86





⇒ Componentes .....	87
3.2.2 Puerta de enlace (HVP) .....	89
• Componentes .....	89
3.2.3 Sistema de Administración de la red (NMS) .....	91
3.2.4 Arquitectura Cliente Servidor .....	91
3.2.5 Plataforma de la NMS .....	92
• Software de la NMS .....	93
3.2.6 Equipo de RF .....	94
• Antena Maestra .....	94
• Cadena de Transmisión .....	95
• Cadena de Recepción .....	97
3.2.7 Terminales DialAway .....	102
• Unidad de Procesamiento Externo .....	102
• Unidad de Procesamiento Interno .....	104

#### **CAPÍTULO IV (Operación de la red y aplicaciones)**

4.1 Outbound .....	107
4.2 Inbound .....	108
4.2.1 DA .....	109
4.2.2 RA .....	109
4.3 Configuración del Inbound y Outbound .....	109
4.4 Configuración e instalación de las VSAT .....	110
4.4.1 IDU .....	111
4.4.2 ODU .....	112
4.5 Aislamientos .....	114
4.6 Proceso y rutas de las llamadas .....	115
4.6.1 VSAT a VSAT .....	115
4.6.2 VSAT a PSTN .....	116



4.6.3 PSTN a VSAT .....	117
4.7 Aplicaciones .....	117
Conclusiones .....	120
Glosario .....	121
Apéndice .....	124
Bibliografía .....	127



### **Prefacio.**

La comunicación a través de satélites ha contribuido a la transformación de dos de las dimensiones humanas: espacio y tiempo. Por tal razón ya no se experimenta asombro ante la difusión de un evento o acontecimiento que puede llegar a cualquier parte del mundo en el momento que sucede. La distancia y el tiempo ya no son límites de la comunicación.

Sin duda podría hacerse un trabajo completo exclusivamente acerca de satélites, siendo el mismo de todas maneras incompleto, dados los avances que los mismos experimentan constantemente y el abanico de posibilidades de servicios y aplicaciones que los mismos pueden ofrecer.

Sin embargo, tras una breve explicación general de los distintos tipos y características globales de los mismos, nos centraremos exclusivamente en las comunicaciones por satélite usando terminales de apertura muy reducida VSAT (Very small aperture terminals), que siguiendo el esquema y objetivo de este trabajo, presenta como una alternativa novedosa al sistema de telefonía fija y un complemento de la telefonía móvil del tipo celular.

En el presente trabajo se describe el funcionamiento de las redes satelitales con tecnología VSAT, desde los conceptos básicos necesarios hasta la operación de la misma.

En el primer capítulo se describen brevemente los conceptos básicos necesarios que nos servirán para poder comprender el trabajo en conjunto. En el capítulo dos se describen los componentes necesarios que involucra la transmisión vía satélite. El tercer capítulo nos involucra en la red satelital. Este capítulo se dividirá en dos sub-temas: el componente espacial donde se abarcarán los diferentes modelos tanto de subida como de bajada de las señales, y el componente terrestre que abarca las diferentes partes físicas que componen una red satelital.



Por último en el cuarto capítulo se explicará el funcionamiento de la red con ayuda de algunos ejemplos comunes.

El propósito fundamental de este trabajo es proporcionar una visión clara de las aplicaciones de los sistemas satelitales de última generación, en particular de la tecnología VSAT; así como las características principales de estas, sin dejar a un lado la teoría necesaria, para reforzar los conocimientos del lector que este interesado en este tema.



## **Introducción.**

Tras un lento proceso de evolución, el ser humano perdió su capacidad de comunicarse mediante las marcas olfativas y táctiles, como los demás animales, y comenzó a desarrollar sistemas de comunicación visuales y auditivos.

En primer lugar, desarrolló el habla para la comunicación entre los miembros de una misma comunidad y para transmitir ó intercambiar información con individuos y comunidades distantes. Con posterioridad, estableció códigos visuales tanto para las señales de humo y los grafismos o escrituras primitivas.

El habla ha sido uno de los medios de comunicación más antiguos y eficaces en la historia de la humanidad. La importancia del lenguaje hablado se mantiene y es la base de aparatos modernos como la radio y el teléfono, pero su limitación radica en el poco alcance del sonido y en la imposibilidad de hacer que éste sea selectivo y llegue a toda la comunidad.

Cuando realmente se considera que comienza la telecomunicación como sistema organizado, es a principios del Siglo XIX, cuando a partir de la revolución francesa surge el telégrafo óptico, como medio de comunicación de los gobiernos y por tanto su propiedad y explotación es estatal. A partir de ese momento los inventos relacionados con las telecomunicaciones se suceden sin parar hasta llegar a nuestros días.

Las comunicaciones satelitales, desde sus comienzos en los años 60's han tenido un vertiginoso desarrollo. Desde las primeras aplicaciones militares hasta las actuales constelaciones para aplicaciones multimedia interactivas. El número de satélites puestos en órbita sigue creciendo incesantemente.



# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES DE LAS COMUNICACIONES.



## **1.1 Antecedentes de las comunicaciones**

### **El Telégrafo Eléctrico**

En 1791 el ingeniero francés Claude Chappe desarrolla un sistema de telegrafía óptica (semáforo), que estuvo en servicio en varios países, hasta mediados del siglo XIX, en que fue sustituido por el telégrafo eléctrico.

La gran revolución de las telecomunicaciones llegó con la telegrafía eléctrica, pero antes hubo que descubrir la electricidad y sus sorprendentes propiedades. Un fenómeno a cuyo estudio se dedicaron numerosos científicos a lo largo de los siglos XVIII y XIX, siendo Hans C. Oersted quien, por primera vez, en el año 1819 demostró que una corriente eléctrica era capaz de desviar una aguja imantada, estableciendo una relación entre la electricidad y el magnetismo, acababa de nacer de manera práctica, el electromagnetismo y a partir de este momento, los inventos aplicados a las telecomunicaciones se sucedieron sin parar y a un ritmo frenético.

Después de muchos intentos por perfeccionar un aparato que transmitiera los mensajes veraz y rápidamente, en 1837 Samuel Morse logra el primer telégrafo de gran aplicación. Constaba de un interruptor (pulsador telegráfico) accionado por el operador en la estación transmisora que permite o interrumpe el paso de una corriente eléctrica. Al otro extremo de la línea, constituida por un único hilo y con retorno por tierra, una punta trazadora hace marcas más o menos largas (líneas o puntos). Esta sucesión de señales fue codificada por el mismo Morse para representar las letras del alfabeto.

### **El teléfono.**

Cuando en 1876 apareció el teléfono (tele-parlante), patentado por el escocés Alexander Graham Bell, que disputó esta patente durante años con Elisha Gray que la había solicitado el mismo día unas horas más tarde, la sociedad tenía satisfechas sus necesidades de comunicación, y de forma espectacular, por el telégrafo, por lo que al teléfono se le considera como un juguete o símbolo de lujo; no obstante, pronto se le encontró aplicación



como medio fácil, que no precisa de un especialista ni requiere llevar el telegrama hasta el destinatario por correo convencional, para comunicaciones dentro de las ciudades o en aplicaciones particulares. En Europa, como sólo se piensa en el ámbito urbano se considera que es de competencia municipal y, por tanto, son sociedades municipales o compañías privadas las que lo instalan y explotan. Las primeras redes se inauguran en Londres y en París en 1879.

En Hispanoamérica la fecha de inicio de las actividades de comunicaciones telegráficas y telefónicas dependen de las circunstancias políticas de cada país, pero en general puede decirse que el telégrafo pasó pronto a depender del estado, mientras que el teléfono se mantuvo en régimen de concesión. En muchos casos fueron compañías europeas y norteamericanas, o al menos con capitales de esa procedencia, las que explotaron los servicios.

### **La Radio**

Con el principio del siglo XX había llegado la Radio, su primer ensayo de comunicación es intercontinental y, posteriormente su aplicación más importante es en la navegación lo que permite por primera vez en la historia de la humanidad que un barco pueda pedir socorro.

Después de la primera guerra mundial y como consecuencia de los desarrollos en radiotelefonía para aplicaciones bélicas, especialmente en la aviación de combate, se desarrolló la radiodifusión, que tampoco compitió con las comunicaciones tradicionales y también se explotó mediante concesión.

Al final de los años veinte y gracias a los radioaficionados se descubrió el fenómeno de la propagación ionosférica de ciertas ondas electromagnéticas y con ello las grandes posibilidades para las comunicaciones intercontinentales de las llamadas ondas cortas.





Otra de las aplicaciones de las ondas de radio de alta frecuencia se encuentra en el radar, que se basa en el principio de reflexión (eco) que experimentan las ondas electromagnéticas, con una longitud de onda de algunos centímetros, cuando localizan un objeto en su trayectoria. Sus aplicaciones son múltiples en la navegación aérea y marítima detectando los objetos que se encuentran dentro de su radio de acción, así como en meteorología y control de velocidad de vehículos.

### **La televisión**

En 1926 se realiza la primera demostración pública de la televisión, el ingeniero escocés John Logie Baird transmitió una imagen minúscula entre una cámara y una pantalla de 30 líneas. Un año después, el mismo Baird lograba transmitir una imagen a través de los 20 kilómetros que separaban Harrow de Londres. En 1929 la BBC de Inglaterra comenzó de manera regular las transmisiones experimentales de la televisión de Baird.

La tecnología la televisión temprana utilizaba un sistema de 405 líneas en pantalla y cuando aparecieron los de 625 líneas, en 1964, ésta se vuelve obsoleta. El 19 de agosto el ingeniero González Camarena patentó en México su sistema de televisión tricromático basado en los colores verde, azul y rojo, junto con la amplia variedad de la programación han hecho de la TV uno de los equipos más populares, que está presente en el 100% de los hogares de los países desarrollados, incluso por delante del teléfono.

### **Los cables submarinos**

El primer intento, fracasado, de colocar un cable transoceánico, entre Irlanda y Terranova, tuvo lugar en 1857, siendo un gran problema el encontrar barcos adecuados para ello, dado el peso del cable de miles de kilómetros de longitud. Hubo varios intentos más, pero hasta 1866 no se consigue instalar un cable submarino con éxito, que siguiera funcionando durante años. Unos 20 años antes se empezaron a tender cables submarinos, pero en distancias cortas, para utilizarse en transmisiones telegráficas, que llevaban sólo



unos pocos hilos de cobre y que requerían de grandes voltajes para transmitir la señal, lo que alguna vez provocó su fusión, por calor.

Durante la segunda guerra mundial y como consecuencia del desarrollo del radar, se consigue generar ondas de menor longitud, las Microondas, que permiten grandes anchos de banda mediante las cuales pueden transmitirse cientos de comunicaciones telefónicas y transmisiones de televisión; pero que ya no se propagan a través de la ionosfera y para aplicarlas a las comunicaciones internacionales es necesario recurrir a cables coaxiales submarinos que se tienden y se explotan ya no por compañías privadas, sino por grandes consorcios formados por operadores, e inversores independientes.

La consecución de un repetidor sumergido, en la mitad de la década de los cincuenta, fue el inicio de una nueva era de los cables submarinos. En 1956 se tendió un cable para 36 canales, denominado TAT-1, entre Escocia y Canadá, seguido tres años después por el TAT-2 entre Francia y Canadá. En 1961 se cruza el Atlántico entre Gran Bretaña y Canadá con un cable para 60 circuitos, el CANTAT-1. A mediados de los sesenta están disponibles los repetidores transistorizados que revolucionan los sistemas de cables submarinos, con el tendido en 1967, entre el Reino Unido y los Estados Unidos. Durante los primeros años de la década de los setenta el sistema TAT llega a su quinta generación, con un sistema de 845 circuitos entre Estados Unidos y España, ruta que se amplía con 1840 circuitos en 1974 con el CANTAT-2 y que se incrementa a 4000 circuitos con el TAT-6 en 1976.

Recientemente, los cables coaxiales fueron sustituidos por los de fibra óptica, debido a su mayor capacidad de transmisión y, fiabilidad. En 1989 se colocó el primero de este tipo para cruzar el Atlántico y en 1996 el primero transpacífico.

### **Los satélites**

Pronto la Radio consigue nuevamente participar en las comunicaciones intercontinentales situando un repetidor en un satélite de comunicaciones; también para el



lanzamiento y explotación de éstos se crean consorcios como los de los cables, con los que compiten tan duramente como en los años treinta.

Los lanzamientos con éxito, en 1957, por la Unión Soviética del primer satélite artificial de la Tierra, el *Sputnik 1* y, en 1960, por la NASA, de un globo de 33 metros de diámetro, el *Echo 1*, que se podía ver por las noches, demostraron que era posible el enlace a gran distancia de canales telefónicos, por la reflexión pasiva de las ondas. Aunque aun se desconocía el efecto que podía causar en una conversación el retardo de 0.5 segundos que esta distancia provoca y, como consecuencia, los primeros satélites de comunicaciones se situaron en órbitas relativamente bajas, de entre 800 y 5,000 Km. de altura.

## 1.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE LAS COMUNICACIONES

### 1.2.1 EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El propósito de un sistema de comunicaciones electrónica es intercambiar información entre dos o mas ubicaciones (generalmente llamadas estaciones). Esto se logra convirtiendo la información de la fuente original a energía electromagnética y después transmitiendo la energía a uno o más destinos, en donde se convierte de nuevo a su forma original. La energía electromagnética puede propagarse en varios modos: como un voltaje o una corriente a través de un cable metálico, como ondas de radio emitidas por el espacio libre o como ondas de luz por una fibra óptica.

La energía electromagnética está distribuida a través de un rango de frecuencias casi infinito. El espectro de frecuencias electromagnéticas total que muestra las localizaciones aproximadas de varios servicios dentro de la banda se enseña en la figura 1.1. Puede verse que el espectro de frecuencias se extiende desde las frecuencias subsónicas (unos cuantos hertz), a los rayos cósmicos, ( $10^{22}$  Hz). Cada banda de frecuencias tiene aplicaciones únicas que la hace diferente de las otras bandas.

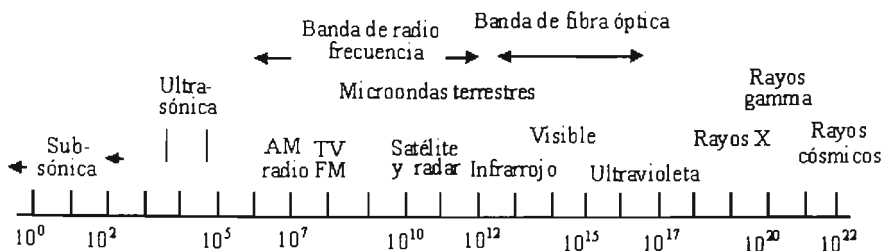


Figura 1.1. Espectro de frecuencias electromagnéticas.

Cuando se trata de ondas de radio, es común usar las unidades de la longitud de onda en vez de la frecuencia. La longitud de onda es la distancia que un ciclo de una onda electromagnética ocupa en el espacio (es decir, la distancia entre los puntos semejantes en una onda repetitiva). La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda y directamente proporcional a la velocidad de propagación (la velocidad de propagación de la energía electromagnética en el espacio libre se asume que sea la velocidad de la luz,  $3 \times 10^8$  m/s). La relación entre la frecuencia, velocidad y longitud de onda se expresa matemáticamente como:

$$\text{Longitud de onda} = \frac{\text{velocidad}}{\text{frecuencia}}$$
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

- en donde:
- $\lambda$  = longitud de onda (metros por ciclo)
  - $c$  = velocidad de la luz (300, 000,000 m/s)
  - $f$  = frecuencia (hertz)

El espectro total de la longitud de onda electromagnética que enseña varios servicios dentro de la banda está mostrado en la figura 1.2. El espectro de frecuencia de radio (RF) totalmente utilizable se divide en bandas de frecuencia mas angostas, las cuales son asignadas con nombres descriptivos y números de banda. Las designaciones de banda del Comité Consultivo Internacional de Radio (CCIR), se mencionan en la tabla 1-1. Varias de estas bandas se dividen en diversos tipos de servicios.

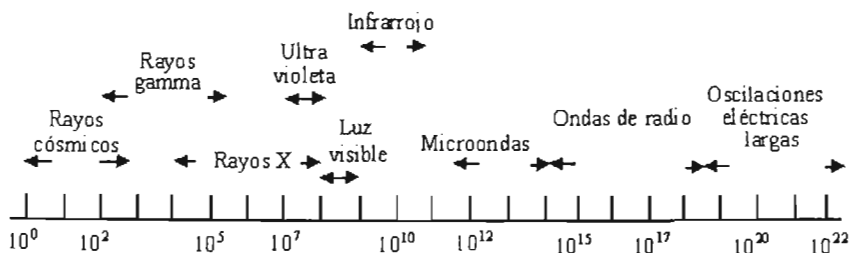


Figura 1.2. Espectro de la longitud de onda electromagnéticas.

Tabla 1.1 Designación de la banda de CCIR

Número de bandas	Rango de frecuencias*	Designaciones
2	30-300 Hz.	ELF (frecuencias extremadamente bajas)
3	0.3-3 Khz.	VF (frecuencias de voz)
4	3-30 Khz.	VLF (frecuencias muy bajas)
5	30-300 Khz.	LF (frecuencias bajas)
6	0.3-3 Mhz.	MF (frecuencias medias)
7	3-30 Mhz.	HF (frecuencias altas)
8	30-300Mhz.	VHF (frecuencias muy altas)
9	0.3-3 Ghz.	UHF (frecuencias ultra altas)
10	3-30 Ghz.	SHF (frecuencias superaltas)
11	30-300Ghz.	EHF (frecuencias extremadamente altas)
12	0.3-3 Thz.	Luz infrarroja
13	3-30 Thz.	Luz infrarroja
14	30-300 Thz.	Luz infrarroja
15	0.3-3 Phz.	Luz visible
16	3-30 Phz.	Luz ultravioleta
17	30-300 Phz.	Rayos-X
18	0.3-3 Ehz.	Rayos-gamma
19	3-30 Ehz.	Rayos cósmicos

\*  $10^0$  hertz (Hz),  $10^3$  kilohertz (Khz.),  $10^6$  megahertz (Mhz),  $10^9$  gigahertz (Ghz),  $10^{12}$  terahertz (Thz),  $10^{15}$  petahertz (Phz),  $10^{18}$  exahertz (Ehz)



### 1.2.2 ANCHO DE BANDA Y CAPACIDAD DE INFORMACIÓN

Las dos limitaciones más significativas en el funcionamiento del sistema de comunicaciones son: el ruido y el ancho de banda. El ancho de banda de un sistema de comunicaciones es la banda de paso mínima (rango de frecuencias) requerida para propagar la información de la fuente a través del sistema. El ancho de banda de un sistema de comunicaciones debe ser lo suficientemente grande (ancho) para pasar todas las frecuencias significativas de la información.

La capacidad de información de un sistema de comunicaciones es una medida de cuánta información de la fuente puede transportarse por el sistema, en un periodo dado de tiempo. La cantidad de información que puede propagarse a través de un sistema de transmisión es una función del ancho de banda del sistema y el tiempo de transmisión.

La relación entre el ancho de banda, tiempo de transmisión y capacidad de información fue desarrollada en 1920 por R. Hartley de los Laboratorios Telefónicos Bell. De manera sencilla, la ley de Hartley es

$$I \propto B \times t \quad (2)$$

en donde: I = capacidad de información

B = ancho de banda (hertz)

t = tiempo de transmisión (segundos)

La ecuación (2) muestra que la capacidad de información es una función lineal y directamente proporcional al ancho de banda del sistema y al tiempo de transmisión. Si se modifica el ancho de banda o el tiempo de transmisión, ocurrirá un cambio directamente proporcional en la capacidad de información.

Se requiere aproximadamente 3 KHz. de ancho de banda para transmitir señales telefónicas con calidad de voz. Se requieren más de 200 KHz. de ancho de banda para la transmisión de FM comercial de música de alta fidelidad y se necesita casi 6 Mhz. de ancho



de banda para las señales de televisión con una calidad de radiodifusión (es decir, cuanto mayor sea la cantidad de información por unidad de tiempo, mayor será la cantidad del ancho de banda requerida).

### **1.2.3 MODOS DE TRANSMISIÓN**

Los sistemas de comunicaciones electrónicas pueden diseñarse para manejar la transmisión solamente en una dirección, en ambas direcciones pero sólo uno a la vez, o en ambas direcciones al mismo tiempo. Estos se llaman modos de transmisión. Cuatro modos de transmisión son posibles: simplex, half-duplex, full-duplex- y full/full-duplex.

#### **Simplex (SX)**

Con la operación simplex, las transmisiones pueden ocurrir sólo en una dirección. Los sistemas simplex son, algunas veces, llamados sistemas de un sentido, sólo para recibir o sólo para transmitir. Una ubicación puede ser un transmisor o un receptor, pero no ambos. Un ejemplo de la transmisión simplex es la radiodifusión de la radio comercial o de televisión; la estación de radio siempre transmite y el usuario siempre recibe.

#### **Half-duplex (HDX)**

Con una operación half-duplex, las transmisiones pueden ocurrir en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo. A los sistemas half-duplex, algunas veces se les llaman sistemas con alternativa de dos sentidos, cualquier sentido, o cambio y fuera. Una ubicación puede ser un transmisor y un receptor, pero no los dos al mismo tiempo. Los sistemas de radio de doble sentido que utilizan los botones oprima para hablar (PTT), para operar sus transmisores, como los radios de banda civil y de banda policíaca son ejemplos de transmisión half-duplex.

#### **Full-duplex (FDX)**

Con una operación full-duplex, las transmisiones pueden ocurrir en ambas direcciones al mismo tiempo. A los sistemas de full-duplex algunas veces se les llama líneas simultánea de doble sentido, duplex o de ambos sentidos. Una ubicación puede



transmitir y recibir simultáneamente; sin embargo, la estación a la que está transmitiendo también debe ser la estación de la cual está recibiendo. Un sistema telefónico estándar es un ejemplo de una transmisión full-duplex.

### **Full/full-duplex (F/FDX)**

Con una operación full/full-duplex, es posible transmitir y recibir simultáneamente, pero no necesariamente entre las mismas dos ubicaciones (es decir, una estación puede transmitir a una segunda estación y recibir de una tercera estación al mismo tiempo). Las transmisiones full/full-duplex se utilizan casi exclusivamente con circuitos de comunicaciones de datos. El Servicio Postal de Estados Unidos es un ejemplo de una operación full/full-duplex.

### **1.2.4 Modulación**

Las señales de información deben ser transportadas entre un transmisor y un receptor sobre alguna forma o medio de transmisión. Sin embargo, las señales de información pocas veces encuentran una forma adecuada para la transmisión. La modulación se define como el proceso de transformar información de su forma original a una forma más adecuada para la transmisión. Demodulación es el proceso inverso (es decir, la onda modulada se convierte nuevamente a su forma original). La modulación se realiza en el transmisor en un circuito llamado modulador, y la demodulación se realiza en el receptor en un circuito llamado demodulador. La ecuación siguiente es la representación matemática de una onda senoidal.

$$V = V_p \text{ sen } (\omega t + \theta) \quad (3)$$

donde:  $V$  = valor instantáneo

$V_p$  = valor pico

$\omega$  = velocidad angular =  $2\pi f$

$\theta$  = ángulo de fase

Cada uno de los tres últimos términos pueden ser variados de acuerdo con la baja frecuencia de la señal de información y producir una señal modulada que contenga la señal





inteligente<sup>1</sup>. Si el término amplitud,  $V_p$  es el parámetro variado, es conocido como amplitud modulada (AM). Si la frecuencia es variada, frecuencia modulada (FM) y variando el ángulo de fase  $\theta$ , tenemos la modulación de fase (PM). Si más de una señal utiliza el canal, la modulación permite la traslación de las diferentes señales a diferentes localizaciones espectrales, lo que permite que dos o más señales se transmitan por un solo transmisor y sean recibidas simultáneamente por un solo receptor

### **MODULACION EN AMPLITUD**

Modulación de amplitud (AM) es el proceso de cambiar la amplitud de una portadora de frecuencia relativamente alta de acuerdo con la amplitud de la señal modulante (información). Las frecuencias que son lo suficientemente altas para radiarse de manera eficiente por una antena y propagarse por el espacio libre se llaman comúnmente radiofrecuencias o simplemente RF. Con la modulación de amplitud, la información se imprime sobre la portadora en la forma de cambios de amplitud. La modulación de amplitud es una forma de modulación relativamente barata y de baja calidad de modulación que se utiliza en la radiodifusión de señales de audio y video.

Un modulador AM es un aparato no lineal con dos señales de entrada de información: una señal portadora de amplitud constante y de frecuencia sencilla, y la señal de información (figura 1.3). La información actúa sobre o modula la portadora y puede ser una forma de onda de frecuencia simple o compleja compuesta de muchas frecuencias que fueron originadas de una o más fuentes. Debido a que la información actúa sobre la portadora, se le llama señal modulante. La resultante se llama onda modulada o señal modulada.

---

<sup>1</sup> Señal inteligente: es la información ya sea voz, datos o imágenes que se desean transmitir.

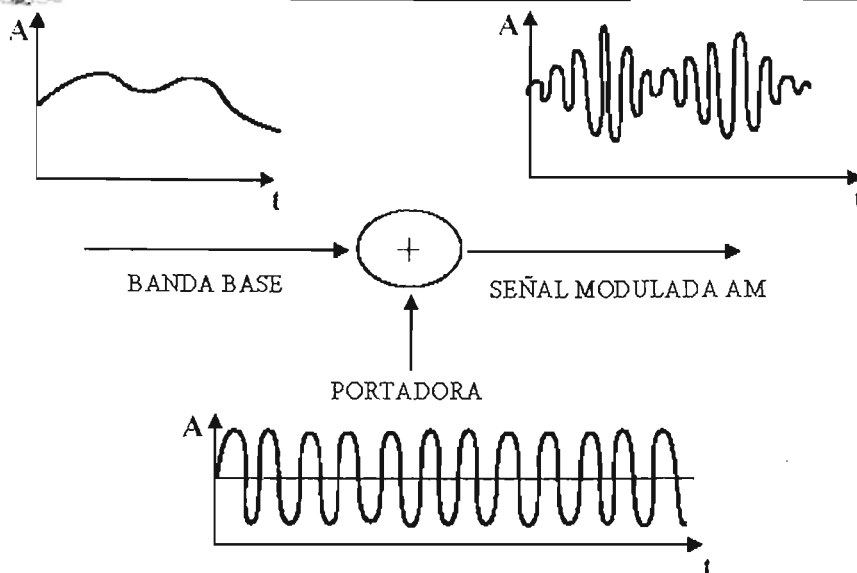


Figura 1.3 Modulación en Amplitud.

## MODULACION ANGULAR

En una señal analógica pueden variar tres propiedades: la amplitud, la frecuencia y la fase. La modulación en frecuencia (FM) y la modulación en fase (PM), son ambas formas de la modulación angular. Desafortunadamente, en ambas formas de la modulación angular se les llama simplemente FM cuando, en realidad, existe una diferencia clara (aunque sutil), entre las dos. Existen varias ventajas en utilizar la modulación angular en vez de la modulación en amplitud, tal como la reducción de ruido, la fidelidad mejorada del sistema y el uso más eficiente de la potencia. Sin embargo, FM y PM, tienen varias desventajas importantes, las cuales incluyen requerir un ancho de banda extendida y circuitos más complejos, tanto en el transmisor, como en el receptor.

La modulación angular fue introducida primero en 1931, como una alternativa a la modulación en amplitud. Se sugirió que la onda con modulación angular era menos susceptible al ruido que AM y, consecuentemente, podía mejorar el rendimiento de las comunicaciones de radio. El mayor E. H. Armstrong desarrolló el primer sistema con éxito



de radio de FM, en 1936. Actualmente, la modulación angular se usa extensamente para la radiodifusión de radio comercial, transmisión de sonido de televisión, radio móvil de dos sentidos, radio celular y los sistemas de comunicaciones por microondas y satélite.

*La modulación angular* resulta cuando el ángulo de fase ( $\theta$ ), de una onda sinusoidal varía con respecto al tiempo. La onda con modulación angular se muestra matemáticamente como:

$$m(t) = V_c \cos [\omega_c t + \theta(t)] \quad (4)$$

en donde:  $m(t)$  = onda con modulación angular

$V_c$  = amplitud pico de la portadora (volts)

$\omega_c$  = frecuencia en radianes de la portadora (es decir velocidad angular,  $2\pi f_c$ )

$\theta(t)$  = desviación instantánea de fase (radianes)

En esencia, la diferencia entre la modulación en frecuencia y en fase está en cuál propiedad de la portadora (la frecuencia o la fase) está variando directamente por la señal modulante y cuál propiedad está variando indirectamente. Siempre que la frecuencia de la portadora está variando, la fase también se encuentra variando, y viceversa. Por lo tanto, FM y PM, deben ocurrir cuando se realiza cualquiera de las formas de la modulación angular. Si la frecuencia de la portadora varía directamente de acuerdo con la señal modulante, resulta en una señal de FM. Si la fase de la portadora varía directamente de acuerdo con la señal modulante, resulta en una señal PM. Por lo tanto, la FM directa es la PM indirecta y la PM directa es la FM indirecta.

La figura 1.4 muestra la forma de onda para una portadora sinusoidal para la cual la modulación angular está ocurriendo. La frecuencia y la fase de la portadora están cambiando proporcionalmente, con la amplitud de la señal modulante. La figura 1.5 muestra la modulación en frecuencia y en fase de una portadora sinusoidal por una señal modulante de frecuencia sencilla. Se puede observar que las formas de onda de FM y de PM son idénticas, excepto por su relación de tiempo (fase). Por lo tanto, es imposible

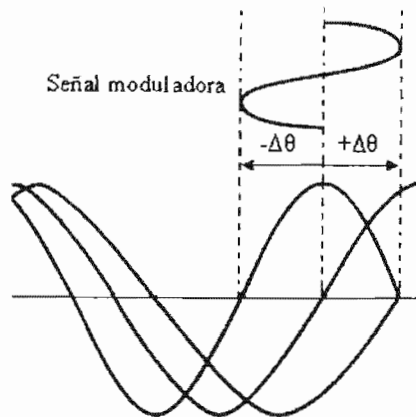


Figura 1.4 Frecuencia variante con el tiempo.

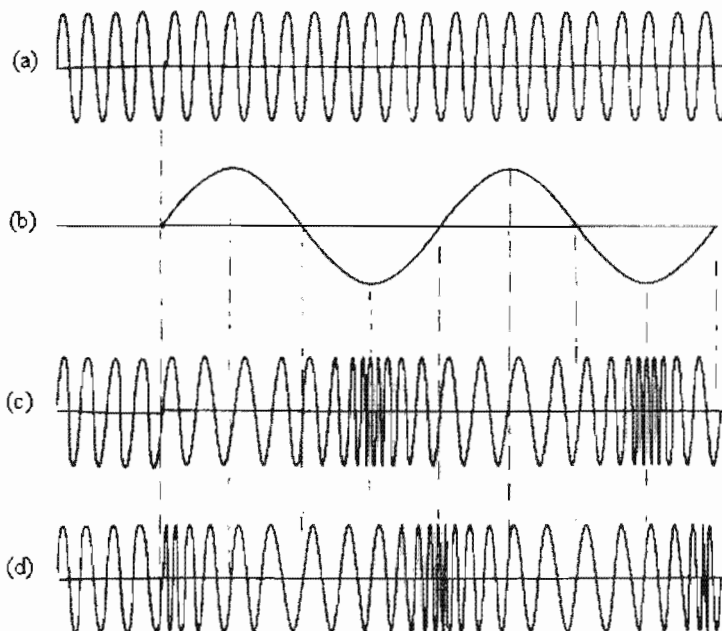


Figura 1.5 (a) Portadora no modulada; (b) señal moduladora; (c) onda con frecuencia modulada; (d) Onda con fase modulada.

distinguir una forma de onda de FM de una forma de onda de PM, sin saber las características de la señal modulante. Con FM, la máxima desviación de frecuencia (cambio



en la frecuencia de la portadora) ocurre durante los máximos puntos negativos y positivos de la señal modulante. Con PM, la máxima desviación de frecuencia ocurre durante los cruces de cero de la señal modulante.

## **MODULACIÓN DIGITAL**

Durante los últimos años, la industria de las comunicaciones electrónicas ha experimentado algunos cambios tecnológicos notables. Los sistemas tradicionales de comunicaciones electrónicas que utilizan técnicas de modulación analógica convencional, como la modulación en amplitud (AM), la modulación en frecuencia (FM), y la modulación en fase (PM), se están reemplazando poco a poco, con sistemas de comunicaciones digitales. Los sistemas de comunicación digital ofrecen varias ventajas sobresalientes, respecto a los sistemas analógicos tradicionales: facilidad de procesamiento, facilidad de multicanalización e inmunidad al ruido.

La información se propaga a través de un sistema de comunicación en la forma de símbolos, que puede ser analógico (proporcional), como la voz humana, información de imagen de video, o música, o digital (discreta), como los números binarios codificados, códigos alfa/numéricos, símbolos gráficos, códigos operacionales del microprocesador, o información de base de datos. Sin embargo con frecuencia la información fuente no es apropiada para ser transmitida, en su forma original, y se debe convertir a una forma más apropiada, antes de la transmisión.

En esencia, hay tres técnicas de modulación digital que se suelen utilizar en sistemas de transmisión digital: transmisión (modulación) por desplazamiento de frecuencia (FSK), transmisión (modulación) por desplazamiento de fase (PSK), y modulación de amplitud en cuadratura (QAM).

### **Modulación por desplazamiento de Amplitud (ASK)**

La técnica más simple es modulación por desplazamiento de amplitud (Amplitude Shift Keying, ASK), en la cual se modula la portadora con una señal binaria produciendo



una señal AM. El cero binario es representado por una ausencia de amplitud de la portadora y el uno binario, con la amplitud total de la portadora. El desplazamiento off-on es simple, pero ASK hace un uso ineficiente de la potencia de transmisión. La modulación en amplitud, usualmente se emplea en combinación con la modulación en fase.

### MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FRECUENCIA (FSK)

La transmisión por desplazamiento de frecuencia (FSK), es una forma, en alguna medida simple, de modulación digital de bajo rendimiento. El FSK binario es una forma de modulación angular de amplitud constante, similar a la modulación en frecuencia convencional, excepto que la señal modulante es un flujo de pulsos binarios que varía, entre dos niveles de voltaje discreto, en lugar de una forma de onda analógica que cambia de manera continua (figura 1.16). La expresión general para una señal FSK binaria es:

$$v(t) = V_c \cos \left[ \left( \omega_c + \frac{v_m(t) \Delta \omega}{2} \right) t \right] \quad (5)$$

- donde:  $v_m(t)$  = forma de onda FSK binaria  
 $V_c$  = amplitud pico de la portadora no modulada  
 $\omega_c$  = frecuencia de la portadora en radianes  
 $v_m(t)$  = señal modulante digital binaria  
 $\Delta \omega$  = cambio en frecuencia de salida en radianes

De la ecuación (5) puede verse que con el FSK binario, la amplitud de la portadora  $V_c$ , se mantiene constante con la modulación. Debido a que el FSK binario es una forma de modulación en frecuencia, la fórmula para el índice de modulación utilizado en FM, también es válido para el FSK binario. El índice de modulación se da como:

$$MI = \frac{\Delta f}{f_a} \quad (6)$$

- donde:  $MI$  = índice de modulación (sin unidades)  
 $\Delta f$  = desviación de frecuencia (Hz)  
 $f_a$  = frecuencia modulante (Hz)

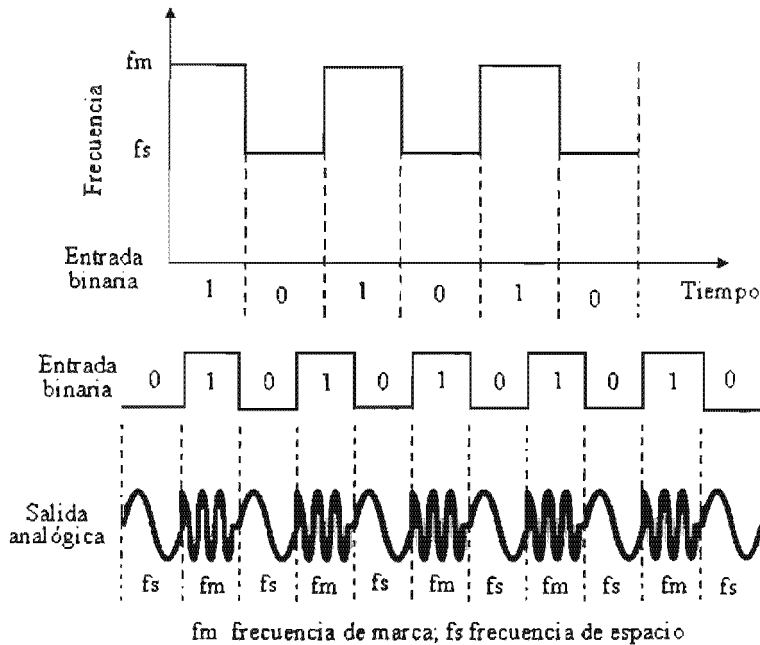


Figura 1.6 Transmisor de FSK binario.

### MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FASE BINARIA (BPSK)

Con la transmisión por desplazamiento de fase binaria (BPSK), son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia de portadora ("binario" significa "2 elementos"). Una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico (figura 1.7). Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están  $180^\circ$  fuera de fase. Otros nombres que se le dan a BPSK son transmisión inversa de fase (PRK) y modulación bifásica. El BPSK es una forma de modulación de onda cuadrada de portadora suprimida de una señal de onda continua (CW).

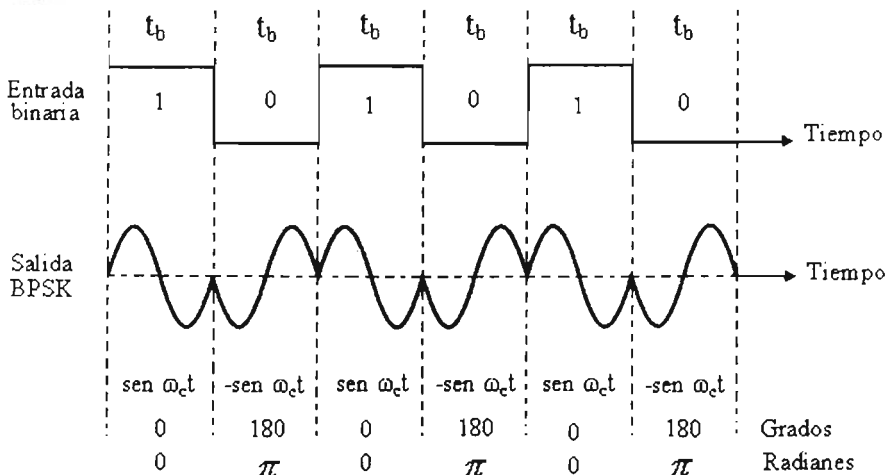


Figura 1.7. Relación de fase de salida contra tiempo para un modulador de BPSK

### MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FASE CUATERNARIA (QPSK)

La transmisión por desplazamiento de fase cuaternaria (QPSK) o, en cuadratura PSK, como a veces se le llama, es otra forma de modulación digital de modulación angular de amplitud constante. La QPSK es una técnica de codificación M-ario, en donde  $M = 4$  (de ahí el nombre de "cuaternaria", que significa "4"). Con QPSK son posibles cuatro fases de salida, para una sola frecuencia de la portadora. Debido a que hay cuatro fases de salida diferentes, tiene que haber cuatro condiciones de entrada diferentes. Ya que la entrada digital a un modulador de QPSK es una señal binaria (base 2), para producir cuatro condiciones diferentes de entrada, se necesita más de un solo bit de entrada. Con 2 bits, hay cuatro posibles condiciones: 00, 01, 10 y 11. En consecuencia, con QPSK, los datos de entrada binarios se combinan en grupos de 2 bits llamados dibits. Cada código dibit genera una de las cuatro fases de entrada posibles. Por tanto, para cada dibit de 2 bits introducidos al modulador, ocurre un solo cambio de salida. Así que, la razón de cambio en la salida (razón de baudio), es la mitad de la razón de bit de entrada. En la figura 1.8 puede verse que la separación angular entre cualquiera de dos fasores adyacentes, en QPSK, es de  $90^\circ$ . Por tanto, una señal de QPSK puede experimentar un cambio en fase, de  $+45^\circ$  o de  $-45^\circ$  durante





la transmisión y, todavía, retener la información correcta codificada al demodular en el receptor.

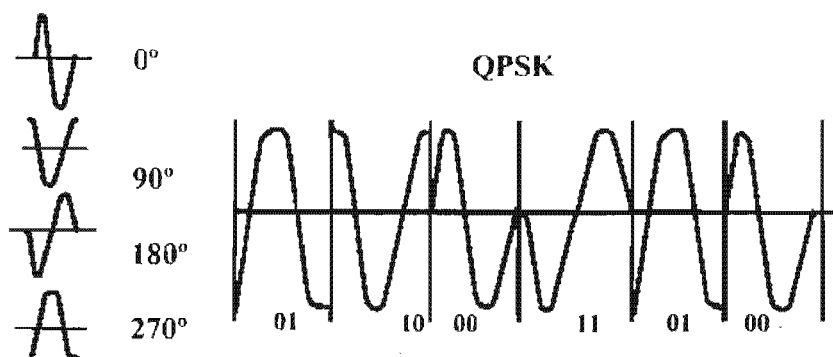


Figura 1.8. Modulación digital en fase (QPSK)

### MODULACIÓN PSK DE 8 FASES

Un PSK de ocho fases (8-PSK), es una técnica para codificar M-ario en donde  $M = 8$ . Con un modulador de 8-PSK, hay ocho posibles fases de salida. Para codificar ocho fases diferentes, los bits que están entrando se consideran en grupos de 3 bits, llamados tribits ( $2^3 = 8$ ). En la figura 1.9 y 1.10 puede verse que la separación angular, entre cualquiera de dos fasores adyacentes, es de  $45^\circ$ ; la mitad de lo que es con QPSK.

Entrada binaria			Fase Salida de 8-PSK
Q	I	C	
0	0	0	$-112.5^\circ$
0	0	1	$-157.5^\circ$
0	1	0	$-67.5^\circ$
0	1	1	$-22.5^\circ$
1	0	0	$+112.5^\circ$
1	0	1	$+157.5^\circ$
1	1	0	$+67.5^\circ$
1	1	1	$+22.5^\circ$

Figura 1.9 Modulador de 8-PSK: (a) tabla de verdad

Por tanto, una señal 8-PSK puede experimentar un cambio de fase de casi  $\pm 22.5^\circ$  durante la transmisión, y todavía retener su integridad. Además, cada fisor es de igual magnitud; la condición tribit (información actual) se contiene, de nuevo, sólo en la fase de



la señal. También debe observarse que el código tribit, entre cualquiera de dos fases adyacentes, cambia por un solo bit. Este tipo de código se llama código Gray o, a veces, el código de máxima distancia. Este código se utiliza para reducir el número de errores de transmisión. Si una señal experimentara cambio de fase durante la transmisión, tal vez sería cambiada a un fesor adyacente. El uso del código Gray resulta en que se reciba en error un solo bit.

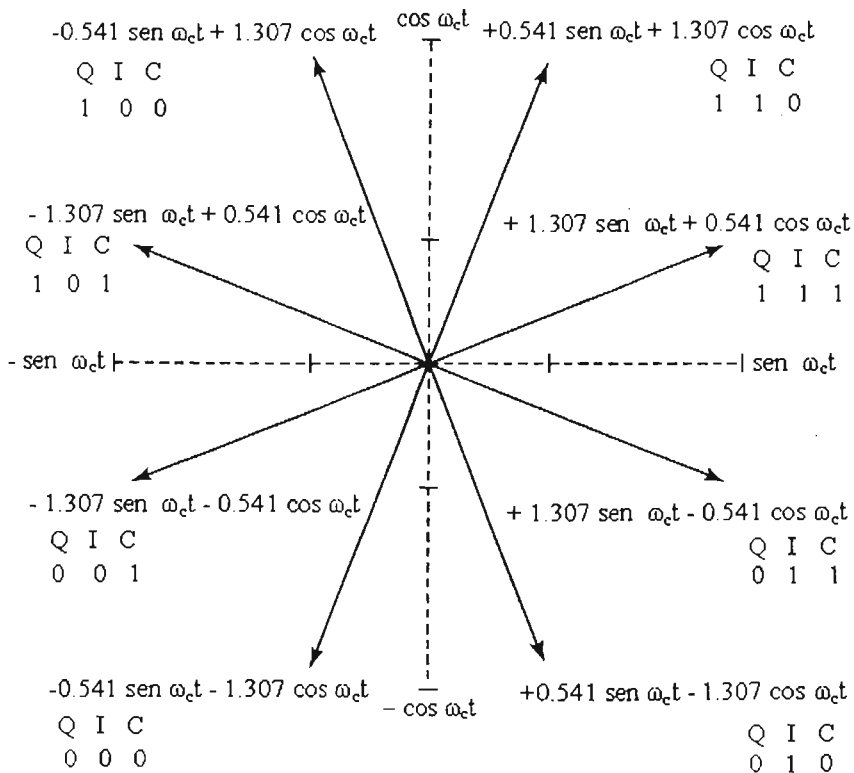


Figura 1.9 (continuación): (b) diagrama fasorial.

La figura 1.10 muestra la relación de la fase de salida contra tiempo de un modulador de 8-PSK.

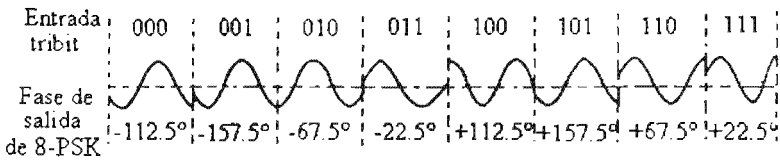


Figura 1.10. Relación de la fase de salida contra tiempo  
Para un modulador de 8-PSK.

### MODULACIÓN PSK DE 16 FASES

El PSK de dieciséis fases (16-PSK) es una técnica de codificación M-ario, en donde  $M = 16$ ; hay 16 diferentes fases de salida posibles. Un modulador de 16-PSK actúa en los datos que están entrando en grupos de 4 bits ( $2^4 = 16$ ), llamados quadbits (bits en cuadratura). La fase de salida no cambia, hasta que 4 bits han sido introducidos al modulador. Por tanto, la razón de cambio de salida (baudio) y el mínimo ancho de banda son iguales a un cuarto de la tasa de bits que están entrando. La tabla de verdad y el diagrama de constelación para un transmisor de 16-PSK se muestran en la figura 1.11. Con el 16-PSK, la separación angular entre fases de salida adyacentes es solo de  $22.5^\circ$ . Por tanto, una señal de 16-PSK puede experimentar casi un cambio de fase de  $\pm 11.25^\circ$  durante la transmisión y todavía retener su integridad.

Debido a esto, el 16-PSK es altamente susceptible a deterioros, en la fase, introducidos en el medio de transmisión y, en consecuencia, rara vez se utiliza.

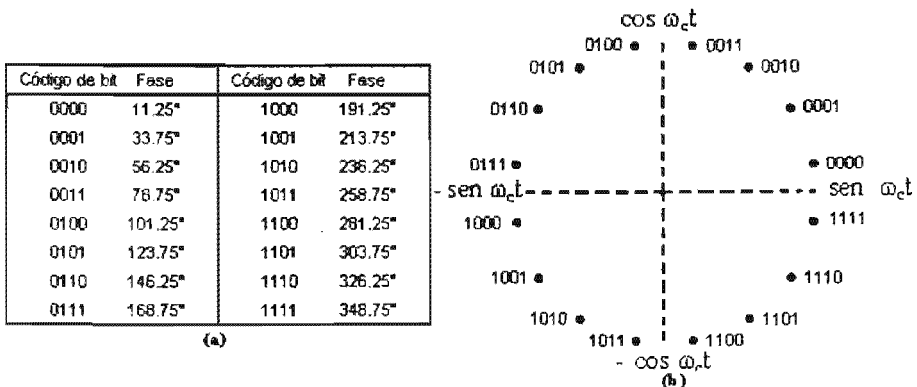


Figura 1.11. 16-PSK: (a) tabla de verdad; (b) diagrama de constelación.



## MODULACIÓN DE AMPLITUD EN CUADRATURA

La modulación de amplitud en cuadratura (QAM), es una forma de modulación digital en donde la información digital está contenida, tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida.

### QAM DE OCHO

El QAM de ocho (8-QAM), es una técnica de codificación M-ario, en donde  $M = 8$ . A diferencia del 8-PSK, la señal de salida de un modulador de 8-QAM no es una señal de amplitud constante (figura 1.12).

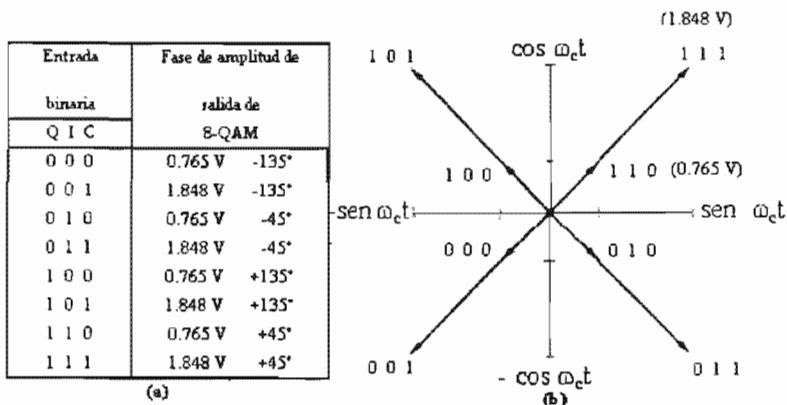


Figura 1.12. Modulador de 8-QAM: (a) tabla de verdad; (b) diagrama fasorial

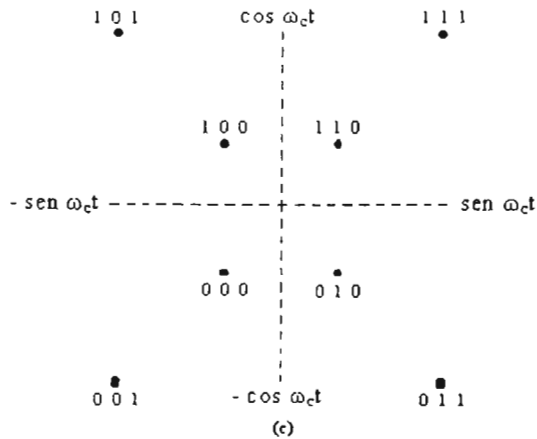


Figura 1.12. (continuación): (c) diagrama de constelación.

La figura 1.13 muestra la relación de la fase de salida contra de tiempo para un modulador de 8-QAM. Observe que hay dos amplitudes de salida y solo son posible cuatro fases.

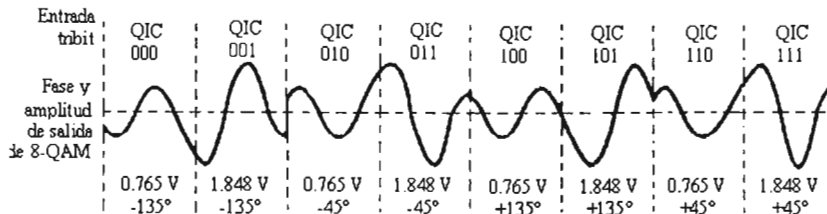


Figura 1.13. Relación de fase y amplitud de salida contra tiempo para el 8-QAM.

## QAM DE DIECISÉIS

Así como el 8-QAM, el 16-QAM es un sistema M-ario, en donde  $M = 16$ . Actúa sobre los datos de entrada en grupos de cuatro ( $2^4 = 16$ ). Como el 8-QAM, tanto la fase y la amplitud de la portadora transmisora son variados.



Entrada binaria				Salida de 16-QAM	
Q	Q'	I	I'		
0	0	0	0	0.311 V	-135°
0	0	0	1	0.850 V	-165°
0	0	1	0	0.311 V	-45°
0	0	1	1	0.850 V	-15°
0	1	0	0	0.850 V	-106°
0	1	0	1	1.161 V	-135°
0	1	1	0	0.850 V	-75°
0	1	1	1	1.161 V	-45°
1	0	0	0	0.311 V	135°
1	0	0	1	0.850 V	175°
1	0	1	0	0.311 V	45°
1	0	1	1	0.850 V	15°
1	1	0	0	0.850 V	106°
1	1	0	1	1.161 V	135°
1	1	1	0	0.850 V	75°
1	1	1	1	1.161 V	45°

(a)

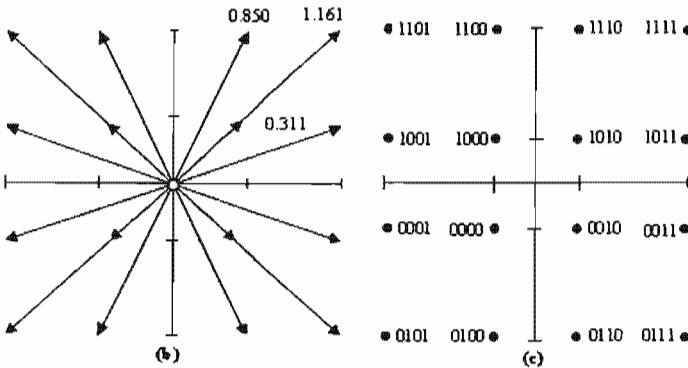


Figura 1.14 Modulador de 16-QAM: (a) tabla de verdad; (b) diagrama fasorial; (c) diagrama de constelación.

### 1.2.5 EFICIENCIA DEL ANCHO DE BANDA

La eficiencia del ancho de banda (o densidad de información, como a veces se llama) a menudo se utiliza para comparar el rendimiento de una técnica de modulación digital con otra. En esencia, es la relación de la tasa de bits de transmisión al mínimo ancho de banda requerido, para un esquema de modulación en particular. La eficiencia del ancho de banda por lo general se normaliza a un ancho de banda de 1 Hz, en consecuencia, indica el número de bits que pueden propagarse a través de un medio por cada hertz de ancho de banda. Matemáticamente, la eficiencia del ancho de banda es:



$$\begin{aligned} \text{Eficiencia BW} &= \frac{\text{tasa de transmision (bps)}}{\text{mínimo ancho de banda}} \quad (8) \\ &= \frac{\text{bits / segundo}}{\text{hertz}} = \frac{\text{bits/segundo}}{\text{ciclo/segundo}} = \frac{\text{bits}}{\text{ciclo}} \end{aligned}$$

### 1.2.6 PROBABILIDAD DE ERROR Y TASA DE ERROR DE BIT

La probabilidad de error  $P(e)$  y la tasa de error de bit (BER), a menudo se utilizan en forma intercambiable, aunque en la práctica si tienen significados un poco distintos.  $P(e)$  es una expectativa teórica (matemática) de la tasa de error de bit para un sistema determinado. BER es un registro empírico (histórico) del verdadero rendimiento de error de bit de un sistema. Por ejemplo, si un sistema tiene un  $P(e)$  de  $10^{-5}$ , esto significa que, matemáticamente, puede esperar que ocurra un error de bit en cada 100,000 bits transmitidos. Si un sistema tiene un BER de  $10^{-5}$ , esto significa que en el pasado hubo un error de bit por cada 100,00 bits transmitidos. Una tasa de error de bit se mide, luego se compara con la probabilidad de error esperada, para evaluar el rendimiento de un sistema.

La probabilidad de error es una función de la relación de potencia de la portadora a ruido (o más específicamente, el promedio de la relación de densidad de potencia de energía por bit a ruido) y el número de posibles condiciones de codificación utilizadas (M-ario). La relación de potencia de la portadora a ruido es la relación de la potencia promedio de la portadora (la potencia combinada de la portadora y sus bandas laterales asociadas) a la potencia de ruido térmico. La potencia de la portadora puede indicarse en watts o en dBm, en donde:

$$C(\text{dBm}) = 10 \log \frac{C \text{ watts}}{0.001} \quad (9)$$

La potencia de ruido térmico se expresa matemáticamente como:

$$N = KTB \text{ (watts)} \quad (10)$$

en donde:  $N$  = potencia de ruido térmico (W)

$K$  = proporcionalidad de la constante de Boltzmann ( $1.38 \times 10^{-23}$  J/K)



T = temperatura (kelvin:  $0^\circ$  kelvin =  $-273$  grados Celsius, temperatura ambiente  
= 290 K)

B = ancho de banda (Hz)

Indicado en dBm,

$$N = (\text{dBm}) = 10 \log \frac{KTB}{0.001}$$

Matemáticamente, la relación de potencia de la portadora a ruido es:

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{KTB} \text{ (relación sin unidades)}$$

en donde: C = potencia de la portadora (W)

N = potencia de ruido (W)

Indicado en dB,

$$\begin{aligned} \frac{C}{N} (\text{dB}) &= 10 \log \frac{C}{N} \\ &= C (\text{dBm}) - N (\text{dBm}) \end{aligned}$$

La densidad de potencia de ruido es la potencia de ruido térmico normalizada a un ancho de banda de 1 Hz (por ejemplo, la potencia de ruido presente en un ancho de banda de 1 Hz). La relación de la densidad de potencia de energía por bit a ruido se utiliza para comparar dos o más sistemas de modulación digital que utilizan diferentes tasas (velocidades) de transmisión (tasas de bit), esquemas de modulación (FSK, PSK, QAM), o técnicas de codificación (M-ario). La relación de la densidad de potencia de energía por bit a ruido es simplemente la relación de la energía de un solo bit a la potencia de ruido presente en 1 Hz de ancho de banda.

En general, la relación de la potencia de la portadora a ruido mínimo requerido para sistemas QAM, es menor que el requerido para sistemas PSK comparables. Además, entre





más alto sea el nivel de codificación utilizado (más alto es el valor de  $M$ , más alta es la relación de la potencia de la portadora a ruido mínimo).

### **1.2.7 TRANSMISIÓN DIGITAL**

La transmisión digital es la transmisión de pulsos digitales, entre dos puntos, en un sistema de comunicación. La información de la fuente original puede estar ya sea en forma digital o en señales analógicas que deben convertirse a pulsos digitales, antes de su transmisión y convertidas nuevamente a la forma analógica en el lado receptor. Con los sistemas de transmisión digital, se requieren una facilidad física tal como un par de alambres metálicos, un cable coaxial o un vínculo de fibra óptica para interconectar a los dos puntos en el sistema. Los pulsos están contenidos dentro de y se propagan por la facilidad de transmisión.

### **1.2.8 MODULACIÓN DE PULSOS**

La modulación de pulsos incluye muchos métodos diferentes para convertir información a forma de pulsos para transferir pulsos de una fuente a un destino. Los cuatro métodos predominantes son modulación de ancho del pulso (PWM), modulación de posición del pulso (PPM), modulación de amplitud de pulsos (PAM) y modulación de pulsos codificados (PCM). Los cuatro métodos, más comunes, de la modulación de pulsos se resumen a continuación y se muestran en la figura 1.15.

1. PWM. Este método a veces se llama modulación de duración del pulso (PDM) o modulación de longitud del pulso (PLM). El ancho del pulso (porción activa del ciclo de trabajo) es proporcional a la amplitud de la señal analógica.

2. PPM. La posición de un pulso de ancho constante, dentro de una ranura de tiempo prescrita, varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.

3. PAM. La amplitud de un pulso de posición constante y de ancho constante varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.



4. PCM. La señal analógica se prueba y se convierte a una longitud fija, número binario serial para transmisión. El número binario varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica. PAM se usa como una forma intermedia de modulación, con PSK, QAM y PCM, aunque raramente se usa sola. PWM y PPM se usan en los sistemas de comunicación, de propósitos especiales (normalmente para el ejército), pero raramente se usan para los sistemas comerciales. PCM es, por mucho, el método más prevalente de modulación de pulsos.

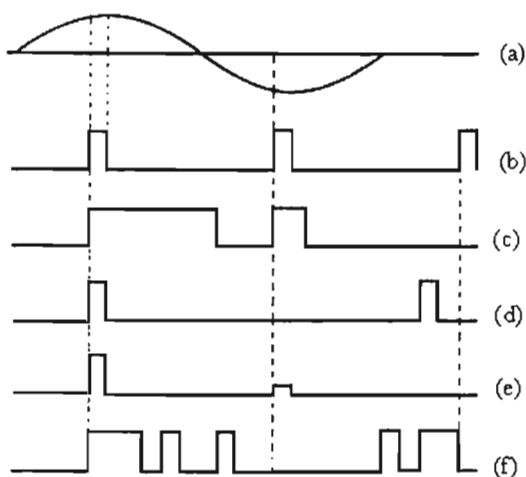


Figura 1.15. Modulación de pulsos: (a) señal analógica; (b) pulsos de muestreo; (c) PWM; (d) PPM; (e) PAM; (f) PCM.

### 1.2.9 MODULACIÓN DE PULSOS CODIFICADOS

La modulación de pulsos codificados (PCM), es la única de las técnicas de modulación de pulsos codificados, anteriormente mencionadas, que se usan en un sistema de transmisión digital. Con PCM, los pulsos son de longitud fija y amplitud fija. PCM es un sistema binario; un pulso o ausencia de pulsos, dentro de una ranura de tiempo prescrita representa ya sea una condición de lógica 1 o de lógica 0. Con PWM, PPM o PAM, un solo pulso no representa un dígito binario sencillo (bit). La figura 1.16 muestra un diagrama a bloques simplificado de un solo canal, sistema PCM sencillo (de un solo sentido). El filtro de pasa-bandas limita a la señal analógica de entrada a la proporción de la frecuencia de la



banda de voz estándar, de 300 a 3000 Hz. El circuito de muestreo y retención periódicamente prueba la entrada de información analógica y convierte esas muestras en una señal PAM de multinivel. El convertidor analógico a digital (ADC) convierte las muestras PAM a un flujo de datos binarios seriales para transmisión.

El medio de transmisión es un cable metálico o fibra óptica.

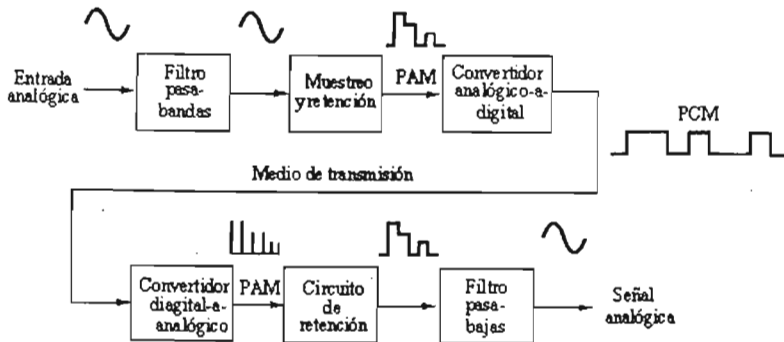


Figura 1.16. Diagrama de bloque de un sistema PCM simplificado.

En el lado de recepción, el convertidor digital a analógico (DAC) convierte el flujo de datos binarios seriales a una señal PAM de multinivel. El circuito de retención y el filtro pasa-bajas convierten a la señal PAM nuevamente en su forma analógica original. Un circuito integrado que realiza la codificación y decodificación de PCM, se llama un *codec* (codificador/decodificador).

## CIRCUITO DE MUESTREO Y RETENCIÓN

El propósito del circuito de muestreo y retención es probar periódicamente la señal de entrada analógica, continuamente cambiante, y convertir las muestras en una serie de niveles PAM de amplitud constante. Para que el ADC convierta exactamente la señal a un código digital, la señal debe ser relativamente constante. Si no es así, antes de que el ADC pueda terminar la conversión, la entrada de información cambiaría. Por lo tanto, el ADC estaría continuamente intentando seguir los cambios analógicos y nunca se estabilizaría en ningún código PCM.



## TASA DE MUESTREO

El teorema de muestreo de Nyquist establece la mínima razón de muestreo ( $f_s$ ) que puede usarse para un sistema PCM específico. Para que una muestra sea reproducida correctamente en el receptor, cada ciclo de la señal de entrada analógica ( $f_a$ ) debe muestrearse por lo menos dos veces. Consecuentemente, la mínima razón de muestreo es igual al doble de la frecuencia de entrada de audio más alta. Si  $f_s$  es menor que el doble de  $f_a$ , resultará en una distorsión. Esta distorsión se llama "aliasing" o distorsión encimada.

Matemáticamente, la mínima razón de muestreo de Nyquist es:

$$f_s \geq 2f_a \quad (11)$$

en donde:  $f_s$  = mínima razón de la muestreo de Nyquist (hertz)  
 $f_a$  = frecuencia más alta que se debe muestrear (hertz)

Esencialmente, un circuito de muestreo y retención es un modulador de AM. El interruptor es un dispositivo no lineal que tiene dos entradas: el pulso de muestreo y la señal analógica de entrada. Consecuentemente, un mezclador no lineal (heterodino) ocurre entre estas dos señales. El filtro pasa-bandas de entrada se llama "antialiasing" o filtro de antiencimar. Su límite de frecuencia superior se elige de tal manera que ninguna frecuencia mayor a la mitad de la razón de muestreo se permitirá entrar en el circuito de muestreo y retención, por lo tanto elimina la posibilidad de que ocurra la distorsión de encimar.

## CÓDIGOS PCM

Con PCM, la señal de entrada analógica se muestrea, y entonces se convierte a un código binario serial. El código binario se transmitirá al receptor, en donde convertirá nuevamente a la señal analógica original. Los códigos binarios usados para PCM son códigos de n-bit (enésimo bit), en donde n puede ser cualquier entero mayor que 1. Los códigos actualmente usados, para PCM, son códigos de magnitud de signo, en donde el bit más significativo (MSB), es el bit de signo y los bits sobrantes se usan para magnitud. La tabla 1.2 muestra un código PCM de n-bit en donde n es igual a 3. El bit más significativo se usará para representar el signo de la muestra (lógico 1 = positivo y lógico 0 = negativo).



Los dos bits sobrantes representan la magnitud. Con 2 bits de magnitud, hay cuatro códigos posibles para los números positivos y cuatro posible para los números negativos. Consecuentemente, hay un total de ocho códigos posibles ( $2^3 = 8$ ). En la tabla 1.2, cada código de 3 bits tiene un rango de voltajes de entrada que serán convertidos a ese código.

Signo	Magnitud	Nivel	Decimal
1	1 1		+3
1	1 0		+2
1	0 1		+1
1	0 0		+0
0	0 0		-0
0	0 1		-1
0	1 0		-2
0	1 1		-3

Tabla 1.2. CÓDIGO PCM DE 3 BITS

Por ejemplo, cualquier voltaje, entre +0.5 y +1.5, será convertido al código 101. Cualquier voltaje, entre +1.5 y +2.5, será codificado como 110. Cada código tiene un rango de cuantización igual a + o - la mitad de la resolución, excepto los códigos para +0 V y -0 V. Los códigos 0 V tienen, cada uno, un rango de entrada igual a sólo la mitad de la resolución, pero debido a que hay dos códigos 0 V, el rango para 0 V es también + o - la mitad de la resolución.

Consecuentemente, el máximo voltaje de entrada al sistema es igual al voltaje del código de magnitud, más alto, más la mitad del voltaje del bit menos significativo.

La figura 1.17. muestra una señal de entrada analógica, el pulso muestreado, la señal PAM correspondiente y el código PCM.

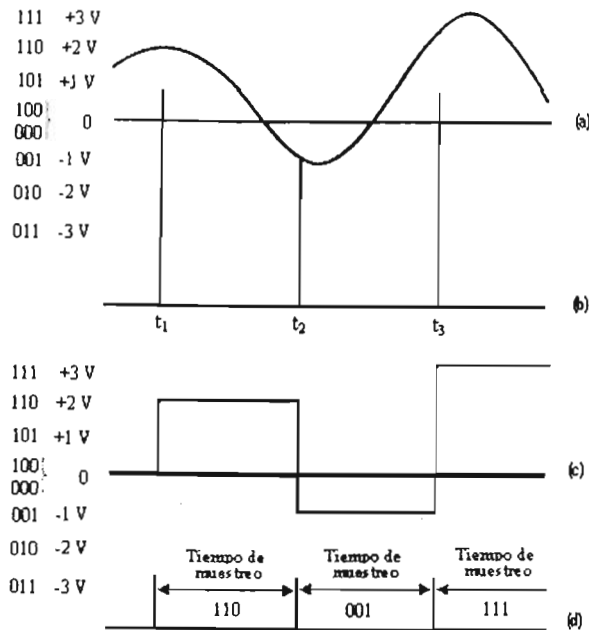


Figura 1.17. (a) señal de entrada analógica; (b) pulsos muestreados; (c) señal PAM; (d) código PCM.

### 1.2.10 COMUNICACIÓN DE DATOS

La comunicación de datos es el proceso de transferir información digital (normalmente en forma binaria), entre dos o más puntos. La información que se procesa y se organiza se llaman datos. Los datos pueden ser, cualquier información alfabética, numérica o simbólica, incluyendo los símbolos alfanuméricos codificados en binarios, códigos operacionales del microprocesador, códigos de control, direcciones de usuario, datos del programa o información de base de datos. En la fuente y el destino, los datos están en forma digital. Sin embargo, durante la transmisión, los datos pueden estar en forma digital o analógica. Una red de comunicación de datos puede ser tan sencilla como dos computadoras personales conectadas, entre sí, por medio de una red telefónica pública, o puede abarcar una red compleja de una o más computadoras y cientos de terminales remotas. Las redes de comunicación de datos se usan para conectar máquinas de cajero automático (ATM) a las computadoras del banco o pueden usarse para la interfase de las



terminales de computadoras (CT) o pantallas de teclado (KD) directamente a los programas de aplicación en computadoras de mainframe. La figura 1.18 muestra un diagrama a bloques simplificado de una red de comunicación de datos. Como la figura lo muestra, hay una fuente de información digital (estación primaria), un medio de transmisión y un destino (estación secundaria). La computadora principal, anfitrión (host), con su propio conjunto de terminales locales y equipos periféricos. Para simplificarlo. Solo aparece una estación secundaria (o remota) mostrada en la figura.

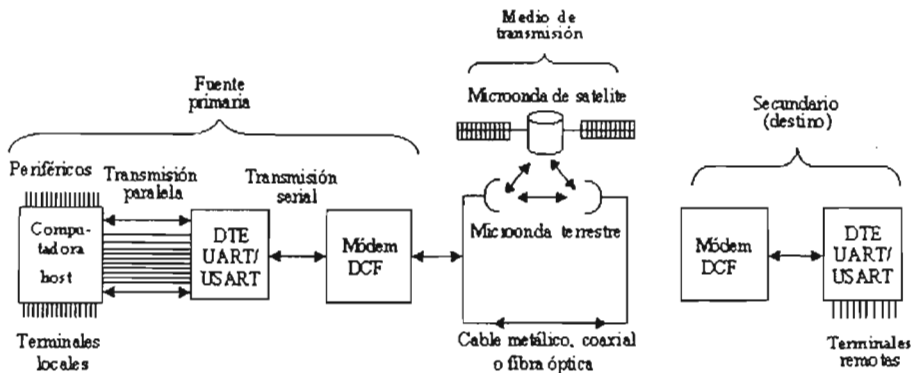


Figura 1.18 Diagrama de bloques simplificado de una red de comunicación de datos.

Como la figura lo muestra, hay una fuente de información digital (estación primaria), un medio de transmisión y un destino (estación secundaria). La computadora principal, anfitrión (host), con su propio conjunto de terminales locales y equipos periféricos. Para simplificarlo. Solo aparece una estación secundaria (o remota) mostrada en la figura.

Las estaciones secundarias son los usuarios de la red. Existen muchos tipos diferentes de medios de transmisión incluyendo la transmisión de radio en el espacio libre (terrestre y microondas de satélite), facilidades de cable metálico (sistemas digitales y analógicos) y cables de fibra óptica (propagación de ondas de luz).



## CONFIGURACIONES Y TOPOLOGÍAS DE CIRCUITOS DE COMUNICACIÓN

**Configuraciones.** Los circuitos de comunicación de datos pueden catalogarse generalmente como de dos puntos o multipunto. Una configuración de dos puntos involucra sólo dos ubicaciones o estaciones, mientras que una configuración de multipunto envuelve tres o más estaciones. Un circuito de dos puntos puede involucrar la transferencia de información entre una computadora de mainframe y una terminal de computadora remota, dos computadores de mainframe o dos terminales de computadoras remotas. Un circuito multipunto generalmente usa para la interconexión de una sola computadora de mainframe (host) a muchas terminales de computadoras remotas, aunque cualquier combinación, de tres o más computadores o terminales de computadoras, constituye un circuito multipunto.

**Topologías.** La topología o arquitectura de un circuito de comunicación de datos identifica cómo varias ubicaciones dentro de la red se encuentran interconectadas. Las topologías más comúnmente usadas son las de punto a punto, estrella, bus o muchas caídas, anillo o circuito y malla. Todas estas son configuraciones de multipunto, excepto la de punto a punto. La figura 1.19 muestra varias de las configuraciones y topologías de circuitos usadas para las redes de comunicación de datos.

## CONTROL DE ERRORES

Un circuito de comunicación de datos puede ser tan corto, de unos cuantos pies o, tan largo, de varios miles de millas; el medio de transmisión puede ser tan sencillo, como un pedazo de cable o, tan complejo, como un sistema de microondas, satélite o fibra óptica. Por lo tanto, debido a las características, no ideales, que están asociadas con cualquier sistema de comunicación, es inevitable que ocurran errores y es necesario desarrollar e implementar procedimientos para el control de errores. El control de errores puede dividirse en dos categorías generales: detección de errores y corrección de errores.

## DETECCIÓN DE ERRORES

La detección de errores es simplemente el proceso de monitorear la información recibida y determinar cuando un error de transmisión ha ocurrido. Las técnicas de detección





de errores no identifican cual bit (o bits) es erróneo, solamente indica que ha ocurrido un error. El propósito de la detección de errores no es impedir que ocurran errores, pero previene que los errores no detectados ocurran. Cómo reacciona un sistema a los errores de transmisión, depende del sistema y varía considerablemente. Las técnicas de detección de errores más comunes usados para los circuitos de comunicación de datos son: redundancia, codificación de cuenta exacta, paridad, chequeo de redundancia vertical y longitudinal y chequeo de redundancia cíclica.

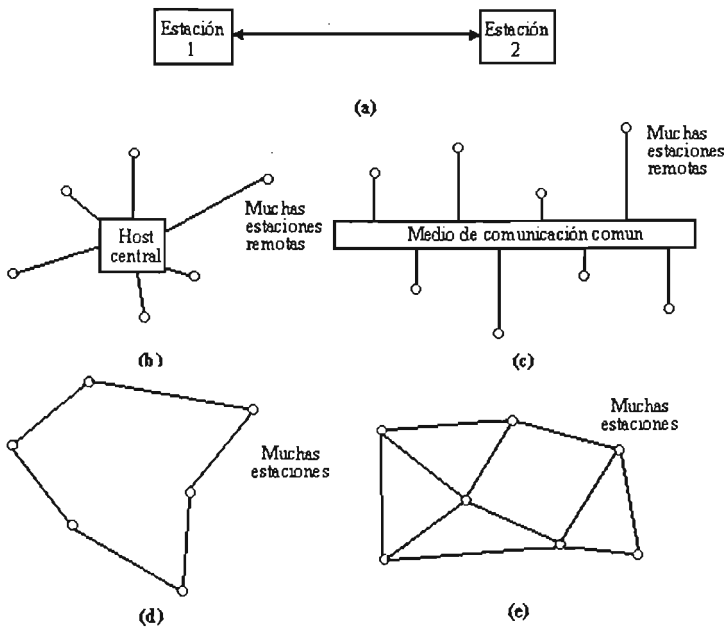


Figura 1.19. Topologías de red de datos (a) punto a punto; (b) estrella, (c) bus, (d) anillo, (e) malla.

**Redundancia.** La redundancia involucra transmitir cada carácter dos veces. Si el mismo carácter no se recibe dos veces sucesivamente, ha ocurrido un error de transmisión. El mismo concepto puede usarse para los mensajes. Si la misma secuencia de caracteres no se recibe dos veces sucesivamente, en exactamente el mismo orden, ha ocurrido un error de transmisión.



**Codificación de cuenta exacta.** Con la codificación de cuenta exacta, el número de unos, en cada carácter, es el mismo. Un ejemplo de un esquema de la codificación de cuenta exacta es el código ARQ, mostrado en la tabla 1.3. Con el código ARQ, cada carácter tiene tres unos en él y, por lo tanto, una cuenta sencilla de la cantidad de unos recibidos, en cada carácter, determina si ha ocurrido un error de transmisión.

Tabla 1.3 Código de cuenta exacta ARQ

Bit:	Código binario							Carácter	
	1	2	3	4	5	6	7	Letra	Figura
	0	0	0	1	1	1	0	Desplazamiento de letra	
	0	1	0	0	1	1	0	Desplazamiento de figura	
	0	0	1	1	0	1	0	A	-
	0	0	1	1	0	0	1	B	?
	1	0	0	1	1	0	0	C	:
	0	0	1	1	1	0	0	D	(WRU)
	0	1	1	1	0	0	0	E	3

**Paridad.** La paridad es probablemente el esquema de detección de error, más sencillo, usado para los sistemas de comunicación de datos y se usa con chequeo de redundancia vertical y horizontal. Con la paridad, un solo bit (llamado bit de paridad) se agrega a cada carácter para forzar el total de números de unos en el carácter, incluyendo el bit de paridad, para que sea un número impar (paridad impar) o un número par (paridad par). Por ejemplo, el código ASCII para la letra "C" es 43 hex o P100011 en binario, con el bit P representando el bit de paridad. Hay tres unos en el código, no contando el bit de paridad. Si se usa la paridad impar, el bit P se hace un 0, manteniendo el número total de unos en tres, un número impar. Si se usa la paridad par, el bit P se convierte en 1 y el número total de unos es cuatro, un número par. La ventaja principal de la paridad es la simplicidad. La desventaja es que cuando un número par de bits se recibe erróneamente, el checadore de paridad no lo detectará (o sea, si las condiciones de lógica de 2 bits se cambian, la paridad permanece igual). Consecuentemente, la paridad en un periodo largo de tiempo, detectará sólo el 50% de los errores de transmisión.



**Chequeo de redundancia vertical y horizontal.** El chequeo de redundancia vertical (VRC), es un esquema de detección de errores que usa la paridad para determinar si un error de transmisión ha ocurrido dentro de un carácter. Por, lo tanto, el VRC a veces se llama paridad de carácter. Con el VRC, cada carácter tiene un bit de paridad agregado a él, antes de la transmisión. Puede usar paridad par o impar. El ejemplo mostrado bajo el tema "paridad" involucrando el carácter de ASCII "C", es un ejemplo de cómo se usa el VRC.

**Revisión de redundancia cíclica.** Probablemente, el esquema más confiable para la detección de errores es el chequeo de redundancia cíclica (CRC). Con CRC, aproximadamente el 99.95% de todos los errores de transmisión se detectan. El CRC se usa generalmente con códigos de 8 bits, tales como EBCDIC o códigos de 7 bits, cuando no se usa la paridad.

En Estados Unidos el código CRC más común es el CRC- 16. Con el CRC-16, se utilizan 16 bits para, el BCS. Esencialmente, el carácter CRC es el sobrante de un proceso de división. Un mensaje de datos del polinomio  $G(x)$  se divide por una función del polinomio generador  $P(x)$ , el cociente se descarta, y el residuo se trunca en 16 bits y se agrega al mensaje como el BCS. Con la generación de CRC, la división no se logra con un proceso de división aritmética estándar. En vez de usar una resta común, el residuo se deriva de una operación de XOR. En el receptor, el flujo de datos y el BCS se dividen por la misma función de generación  $P(x)$ . Si ningún error de transmisión ha ocurrido, el residuo será cero.

El polinomio generado para CRC- 16 es:

$$P(x) = X^{16} + X^{12} + X^5 + X^0$$

en donde  $X^0 = 1$ .

El número de bits en el código CRC es igual al exponente más alto del polinomio generado. Los exponentes identifican las posiciones del bit que contiene un 1. Por lo tanto,  $b_{16}$ ,  $b_{12}$  y  $b_0$  son todos unos y todas las demás posiciones de bits son ceros.



## **CORRECCIÓN DE ERRORES**

Esencialmente, hay tres métodos de corrección de errores: sustitución de símbolos, retransmisión y seguimiento de corrección de un error.

**Sustitución de símbolos.** La sustitución de símbolos se diseñó para usarse en un ambiente humano: en donde hay un ser humano, en la terminal de recepción, para analizar los datos recibidos y tomar decisiones sobre su integridad. Con la sustitución de símbolos, si un carácter se recibe en error, en vez de revertirse a un nivel superior de corrección de errores o mostrar el carácter incorrecto, un carácter único que es indefinido por el código de caracteres, tal como un signo de interrogación invertido ( ? ), se sustituye por el carácter malo. Si el carácter erróneo no puede distinguirse por el operador, la retransmisión es para llamada (o sea, la sustitución de símbolos es una forma de retransmisión selectiva). Por ejemplo, si el mensaje "Nombre" tenía un error en el primer carácter, se mostraría como " ? ombre". Un operador puede discernir el mensaje correcto por inspección, y la retransmisión no es necesaria. Sin embargo si el mensaje " ? ,000.00" se recibiera, un operador no podría determinar el carácter correcto y la retransmisión sería requerida.

**Retransmisión.** La retransmisión como el nombre lo implica es volver a enviar un mensaje, cuando es recibido en error, y la terminal de recepción automáticamente pide la retransmisión de todo el mensaje. La retransmisión frecuentemente se llama ARQ, el cual es un término antiguo de la comunicación de radio, que significa petición automática para retransmisión. ARQ es probablemente el método más confiable de corrección de errores, aunque no siempre es el más eficiente. Las dificultades en el medio de transmisión ocurren en ráfagas. Si se usan mensajes cortos, la probabilidad de que una dificultad ocurra, durante la transmisión es pequeña. Sin embargo los mensajes cortos requieren de más reconocimientos y regresos de línea que los mensajes largos. Los reconocimientos y regresos de línea para el control de errores son formas de encabezamientos (caracteres diferentes a los datos que se deben transmitir). Con los mensajes largos, menos tiempo de regreso es necesario, aunque la probabilidad de que un error de transmisión ocurra es mayor que para los mensajes cortos.



**Seguimiento de corrección de error.** El seguimiento de corrección de error (FEC), es el único esquema de corrección de error que detecta y corrige los errores de transmisión, del lado receptor, sin pedir retransmisión. Con FEC, se agregan bits al mensaje, antes de la transmisión.

Un código de corrección de errores popular, es el código de Hamming. El número de bits en el código de Hamming depende del número de bits en el carácter de datos. El número de bits de Hamming que debe agregarse a un carácter se determina de la siguiente expresión:

$$2^n \geq m + n + 1 \quad (12)$$

en donde:  $n$  = número de bits de Hamming.

$m$  = número de bits en el carácter de datos.

El código de Hamming, como todos los códigos FEC, requiere de la adición de los bits a los datos, alargando consecuentemente el mensaje transmitido. El propósito de los códigos FEC es reducir o eliminar el tiempo gastado de retransmisiones. Sin embargo, la suma de los bits FEC a cada mensaje gasta el tiempo de transmisión.

## SINCRONIZACIÓN

Sincronizar significa coincidir o estar de acuerdo al mismo tiempo. En la comunicación de datos, hay cuatro tipos de sincronización que debe lograrse: sincronización de un bit o reloj, sincronización de módem o portadora, sincronización de carácter y sincronización de mensaje.

### Sincronización de carácter

La sincronización del reloj asegura que el transmisor y el receptor están de acuerdo en una ranura de tiempo exacta, para la aparición de un bit. Cuando una cadena continua de datos se recibe, es necesario identificar cuál bit pertenece a cuáles caracteres y cuál bit es el bit de datos menos significativo, el bit de paridad, y el bit de parada. Esencialmente esto es la sincronización de caracteres: identificar el comienzo y el final de un código de



caracteres. En los circuitos de la comunicación de datos, hay dos formatos usados para lograr la sincronización de caracteres: asíncronos y síncronos.

**Formato de datos asíncronos.** Con los datos asíncronos, cada carácter se entrama entre un bit de arranque y uno de final. El primer bit transmitido es el bit de arranque y siempre es un 0 lógico. Los bits del código de caracteres se transmiten a continuación comenzando con el LSB<sup>\*</sup> y continuando hasta el MSB<sup>†</sup>. El bit de paridad (si se usa) se transmite directamente después del MSB del carácter. El último bit transmitido es el bit de parada, el cual siempre es un 1 lógico. Puede haber bits de parada de 1, 1.5 o 2.

Un 0 lógico se usa para el bit de arranque, porque una condición desocupada (sin ninguna transmisión de datos) en un circuito de comunicación de datos se identifica por la transmisión de unos continuos (éstos frecuentemente se llaman unos de línea desocupada). Por lo tanto, el bit de arranque del primer carácter se identifica por una transición de alto-abajo en los datos recibidos, y el bit que continua, inmediatamente después del bit de arranque es el LSB, del código de caracteres. Todos los bits de parada son unos lógicos, lo cual garantiza una transmisión de alto-a-bajo al comienzo de cada carácter. Después de que el bit de arranque se detecta, los bits de datos y paridad se miden en el receptor. Si los datos se transmiten en tiempo real (es decir, conforme un operador escribe los datos en su terminal de computadora), el número de unos de línea desocupada, entre cada carácter, variará. Durante este tiempo muerto el receptor simplemente esperará la aparición de otro bit de arranque, antes de medir el próximo carácter.

**Formato de datos síncronos.** Con los datos síncronos, en vez de entramar cada carácter independientemente con los bits de arranque y parada, un carácter de sincronización único llamado carácter SYN se transmite al comienzo de cada mensaje. Por ejemplo, con el código ASCII, el carácter SYN es 16H. El receptor descarta los datos que están entrando, hasta que recibe el carácter SYN, entonces se mide en los próximos 8 bits y

---

\* LSB: bit menos significativo.

† MSB: bit mas significativo.



los interpreta como un carácter. El carácter que se usa para significar el final de una transmisión varía con el tipo de protocolo utilizado y qué tipo de transmisiones.

Con los datos asíncronos, no es necesario que los relojes de transmisión y de recepción se sincronicen continuamente. Sólo es necesario que operen aproximadamente la misma tasa y sean sincronizados al comienzo de cada carácter. Este era el propósito del bit de arranque, establecer una referencia de tiempo para la sincronización de caracteres. Con datos síncronos los relojes de transmisión y de recepción deben sincronizarse, porque la sincronización de caracteres ocurre, sólo una vez, al comienzo del mensaje.

Con los datos asíncronos, cada carácter tiene 2 o 3 bits agregados a cada carácter (1 de arranque y 2 de parada). Estos bits son encabezadores adicionales y por lo tanto, reducen la eficiencia de la transmisión (o sea, la relación de los bits de información al total de los bits transmitidos). Los datos síncronos tienen dos caracteres SYN (16 bits de encabezamiento), sumados a cada mensaje. Por lo tanto los datos asíncronos son más eficientes, para los mensajes cortos, y los datos síncronos son más eficientes para los mensajes largos.

### **1.2.11 TÉCNICAS DE ACCESO VÍA SATELITE**

Cada vez que se utilizan portadoras múltiples, en las comunicaciones por satélite, es necesario que el formato de acceso múltiple se establezca sobre el sistema. Este formato permite una separación bien definida entre las transmisiones de enlaces de subida y de bajada desde una multitud de distintas estaciones terrenas. Cada formato tiene sus propias características, ventajas y desventajas específicas.

### **SISTEMAS SATELITALES FDM/FM**

La figura 1.20a muestra un sistema FDM/FM de frecuencia fija de enlace sencillo (dos estaciones terrenas) utilizando un transponder sencillo de satélite. Con antenas que tienen cobertura de tierra y para operación de full duplex, cada enlace requiere de dos canales de RF de satélite (por ejemplo, cuatro frecuencias de portadora de RF, dos de



subida y dos de bajada). En la figura 1.20a, la estación terrena 1 transmite sobre una portadora de banda alta ( $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ , etcétera) y recibe sobre una portadora de banda baja ( $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ , etcétera). Para evitar interferencias con la estación terrena 1, la estación terrena 2 tiene que transmitir y recibir en diferentes frecuencias de la portadora de RF.

Las frecuencias de la portadora de RF están fijas y el transponder del satélite simplemente es un repetidor de RF a RF que proporciona la traslación de frecuencias de subida/ bajada. Este arreglo es impráctico en forma económica y, además, extremadamente ineficaz. Las estaciones terrenas adicionales pueden comunicarse a través de cada transponder diferente dentro de la misma estructura del satélite (figura 1.20b), pero cada enlace adicional requiere de cuatro frecuencias más de portadoras de RF. Es poco probable que cualquier enlace de dos puntos necesite la capacidad disponible en todo un canal de RF de satélite. En consecuencia, se desperdicia la mayor parte del ancho de banda disponible. Además, con este arreglo, cada estación terrena puede comunicarse con solamente otra estación terrena. Los canales de RF de satélite se fijan entre cualquiera de dos estaciones terrenas; por lo tanto, los canales de banda de voz de cada estación terrena están comprometidos con un solo destino.

En un sistema en donde tres o más estaciones terrenas desean comunicarse entre sí, los sistemas de frecuencia fija o de canal dedicado, como los que se muestran en la figura 1.20, son insuficientes; se requiere un método de acceso múltiple. O sea, que cada estación terrena que está utilizando el sistema satelital tenga forma de comunicarse con cada una de las otras estaciones terrenas, que se encuentran en el sistema, por medio de un transponder de satélite común. Al acceso múltiple a veces se le llama destino múltiple, porque las transmisiones desde cada estación terrena se, reciben por todas las otras estaciones terrenas que están en el sistema. Los canales de banda de voz entre cualquiera de dos estaciones terrenas se pueden preasignar (dedicar) o asignar de acuerdo a la demanda (conmutar). Cuando la preasignación aún es usada, un número determinado de canales de banda de voz, que están disponibles en cada estación terrena se asignan a un destino dedicado.



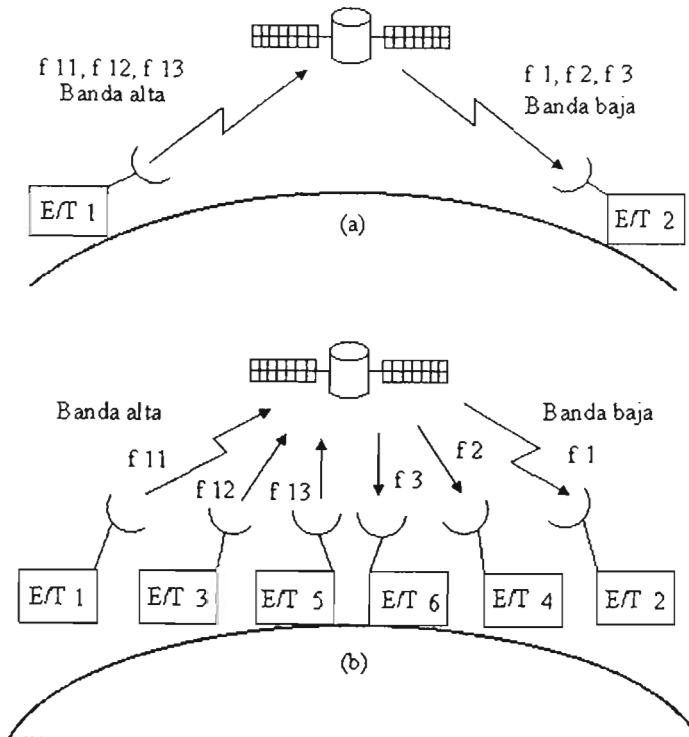


Figura 1.20. Sistema satelital con estaciones terrenas de frecuencia fija: (a) enlace sencillo; (b) enlace múltiple.

Cuando la asignación es de acuerdo a la demanda, los canales de banda de voz se asignan conforme se van necesitando. La asignación por demanda proporciona más versatilidad y un uso más eficiente del espectro de frecuencias disponibles. Por otro lado, la asignación por demanda requiere de un mecanismo de control que es común a todas las estaciones terrenas, para mantener un registro de ruteo para los canales y la disponibilidad de cada canal de banda de voz. Además, con las transmisiones de FDM/FM, es imposible diferenciar (separar) transmisiones múltiples que ocupan el mismo ancho de banda.

Los sistemas de frecuencia fija pueden utilizarse en una configuración de acceso múltiple, conmutando las portadoras de RF en el satélite, volviendo a configurar las señales de banda base con el equipo para el proceso de multicanalización/demulticanalización, que



se encuentra instalado en el satélite, o utilizando antenas de haz de puntos múltiple (reutilización). Cualquiera de estos tres métodos requiere de un hardware pesado, relativamente complicado y costoso, en la nave espacial.

## **ACCESO MÚLTIPLE**

Los tres esquemas para acceso múltiple más comúnmente utilizados: acceso múltiple por división de frecuencias (FDMA); acceso múltiple por división de tiempo (TDMA); y acceso múltiple por división de códigos (CDMA).

### **ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIAS**

El acceso múltiple por división de frecuencias (FDMA) es un método para accesos múltiples en donde un ancho de banda de canal de RF se divide en bandas de frecuencia más pequeñas llamadas subdivisiones. Cada subdivisión se utiliza para llevar un canal de banda de voz. Se utiliza un mecanismo de control para asegurar que dos estaciones terrenas no transmitan, en la misma subdivisión, al mismo tiempo. Esencialmente, el mecanismo de control designa una estación receptora para cada una de las subdivisiones.

En los sistemas de asignación por demanda, el mecanismo de control, también se utiliza para establecer o terminar los enlaces de banda de voz entre las estaciones terrenas, fuente y destino. En consecuencia, cualquiera de las subdivisiones puede ser utilizada por cualquiera de las estaciones terrenas que están participando, en algún momento determinado. Típicamente, cada subdivisión se utiliza para llevar un solo canal de banda de voz de 4 kHz pero, en ocasiones, a los grupos, supergrupos, o hasta a los grupos maestros se les asigna una subdivisión más grande.

La figura 1.23 muestra la estructura de la trama de TDM para el CSC<sup>\*</sup>. El tiempo total de la trama es de 50 ms, que se subdivide en cincuenta intervalos de 1 ms.

---

\* CSC: Canal de señalización común.

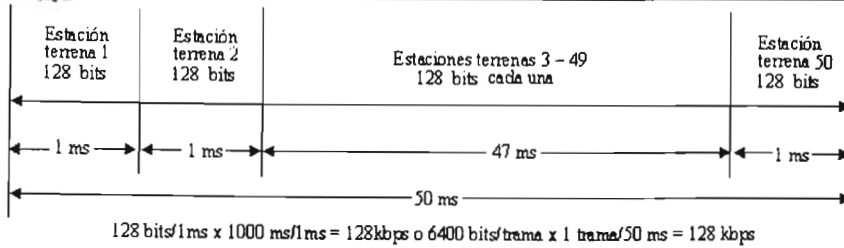


Figura 1.23. Canal de señalización común (CSC) SPADE con FDMA.

Cada estación terrena transmite en el canal CSC solamente durante su ranura de tiempo preasignada de 1 ms. La señal CSC es un código binario de 128 bits. Para transmitir un código de 128 bits en 1 ms, se requiere de una velocidad de transmisión de 128 kbps. El código CSC se utiliza para establecer y desconectar los enlaces de banda de voz entre dos usuarios de estaciones terrenas, cuando se utiliza la asignación de canales de acuerdo a la demanda.

Con FDMA, cada estación terrena puede transmitir simultáneamente dentro del mismo espectro de RF de 36 MHz, pero en diferentes canales de banda de voz. En consecuencia, las transmisiones simultáneas de canales de banda de voz desde todas las estaciones terrenas, dentro de la red satelital, están intercaladas en el dominio de la frecuencia en el transponder de satélite. Las transmisiones de las señales CSC están intercaladas en el dominio del tiempo. Una desventaja obvia del FDMA es que las portadoras de múltiples estaciones terrenas pueden estar presentes en un transponder de satélite al mismo tiempo. Esto resulta en una distorsión por modulación cruzada, entre varias transmisiones de las estaciones terrenas.

## ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO

El acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) es el método predominante utilizado actualmente para acceso múltiple. Proporciona el método más eficiente para transmitir portadoras moduladas, en forma digital (PSK). El TDMA es un método de portadoras moduladas digitalmente con multicanalización por división de tiempo entre estaciones terrenas participantes, dentro de una red satelital, a través de un transponder



común de satélite. Con TDMA, cada estación terrena transmite una corta ráfaga de una portadora modulada en forma digital durante una ranura de tiempo preciso (intervalo) dentro de una trama TDMA. Cada ráfaga de la estación se sincroniza para que llegue al transponder de satélite a un tiempo diferente. En consecuencia, solamente está presente en el transponder la portadora de una estación terrena en un momento determinado, evitando así, una colisión con la portadora de otra estación. El transponder es un repetidor de RF a RF que simplemente recibe las transmisiones de las estaciones terrenas, las amplifica, y luego vuelve a transmitir las en un haz de bajada que se recibe por todas las estaciones terrenas participantes. Cada estación terrena recibe las ráfagas de todas las otras estaciones terrenas y tiene que seleccionar, de entre ellas, el tráfico destinado solamente para ella.

En consecuencia, nunca dos estaciones transmitirán la portadora al mismo tiempo. Observe el tiempo de guarda (GT) entre las transmisiones provenientes de estaciones sucesivas. Esto es análogo a una banda de guarda en un sistema de multicanalización por división de frecuencia. Cada estación precede la transmisión de datos con un preámbulo. El preámbulo es lógicamente equivalente a la ráfaga de referencia. Debido a que las transmisiones de cada estación las deben recibir todas las otras estaciones terrenas, todas las estaciones tienen que recuperar la información del reloj y la portadora, antes de demodular los datos. Si se utiliza una asignación por demanda, también se tiene que incluir un canal de señalización común en el preámbulo.

Esencialmente, TDMA es un sistema de almacenar y enviar. Las estaciones terrenas pueden transmitir solamente durante una ranura de tiempo específico, aunque las señales de banda de voz que están entrando son continuas. En consecuencia, es necesario mostrar y guardar las señales de banda de voz, antes de su transmisión.

Hay varias ventajas de TDMA sobre FDMA. La primera, y probablemente la más importante, es que con TDMA solamente la portadora de una estación terrena está presente en el transponder del satélite en cualquier momento determinado, reduciendo así la distorsión por intermodulación. Segunda, con FDMA, cada estación terrena tiene que ser



capaz de transmitir y recibir en una multitud de frecuencias de portadora para alcanzar las capacidades de acceso múltiple. Tercera, TDMA es mucho más apropiada para la transmisión de información digital que FDMA. Las señales digitales se aclimatan en forma más natural al almacenaje, conversiones de velocidades, y procedimiento de dominio del tiempo que sus contrapartes analógicas.

La desventaja principal del TDMA en comparación con FDMA es que en TDMA se requiere de una sincronización precisa. Las transmisiones de cada estación terrena deben ocurrir durante una ranura de tiempo exacta. Además, la sincronización de los bits y tramas debe alcanzarse y mantenerse con TDMA.

### **ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE CÓDIGOS (ACCESO MÚLTIPLE DEL ESPECTRO DISPERSO)**

Con FDMA, las estaciones terrenas se limitan a un ancho de banda específico dentro de un canal de satélite o sistema, pero no tienen restricción en relación a cuándo pueden transmitir. Con TDMA, las transmisiones de las estaciones terrenas están restringidas a una ranura de tiempo preciso, pero no tienen restricción en relación a qué frecuencia o ancho de banda pueden utilizar dentro de un sistema satelital específico o asignación de canal. Con el acceso múltiple por división de códigos (CDMA), no hay restricciones de tiempo o de ancho de banda. Cada transmisor de estación terrena puede transmitir, cada vez que lo desea, y puede utilizar cualquier ancho de banda o todos los anchos de banda asignados a un sistema o canal de satélite en particular. Debido a que no hay limitaciones en el ancho de banda, al CDMA a veces se le conoce como acceso múltiple del espectro disperso; las transmisiones se pueden extender por todo el ancho de la banda designado. Las transmisiones son separadas por medio de técnicas de encriptación/descriptación de cubiertas. O sea, que las transmisiones de cada estación terrena se codifican con una palabra única binaria llamada código de chip. Cada estación tiene un código de chip único. Para recibir la transmisión de una estación terrena en particular, una estación receptora tiene que saber el código de chip para esa estación.



Con CDMA, todas las estaciones terrenas dentro del sistema pueden transmitir a la misma frecuencia al mismo tiempo. En consecuencia, un receptor de estación terrena puede estar recibiendo señales PSK codificadas simultáneamente, desde más de un transmisor. Cuando éste sea el caso, la función del correlacionador se vuelve considerablemente más difícil. El correlacionador tiene que comparar el código de chip recuperado, con todo el espectro recibido, y separar de él solamente el código de chip proveniente del transmisor de la estación terrena deseada. En consecuencia, el código de chip de una estación terrena no debe estar correlacionado con los códigos de chips de cualquiera de las otras estaciones terrenas.

Una de las ventajas de CDMA es que todo el ancho de banda de un canal o sistema satelital puede utilizarse para cada transmisión de toda estación terrena. Por lo tanto, la desventaja de requerir la sincronización de tiempos en los sistemas de TDMA, también está presente con CDMA. Para abreviar, CDMA no es tan perfecto como se ha hecho creer. La ventaja más importante de CDMA es su inmunidad a la interferencia (atascamiento), que hace que CDMA sea ideal para las aplicaciones militares.

### **1.2.12 PROTOCOLOS**

La meta principal de la arquitectura de red es darles a los usuarios las herramientas necesarias para establecer la red y para el control de flujo de operación. Una arquitectura de red delinea la manera como la red de comunicaciones de datos está arreglada o estructurada y generalmente incluye el concepto de niveles o capas dentro de la arquitectura. Cada capa dentro de la red consiste de protocolos específicos o reglas para comunicarse que realizan un conjunto de funciones específicas. Los protocolos son convenios entre las personas o los procesos. Esencialmente, un protocolo es un conjunto de reglamentos para el comportamiento formal ordenado, como en un protocolo diplomático o militar. Un protocolo de una red de comunicaciones de datos es un conjunto de reglas que gobierna el intercambio ordenado de datos.



Los protocolos de enlace de datos generalmente se catalogan como asíncronos y síncronos. Como regla, los protocolos asíncronos utilizan un formato de datos asíncronos y módems asíncronos, mientras que los protocolos síncronos utilizan un formato de datos síncronos y módems síncronos.

## TCP/IP

### LA ARQUITECTURA TCP/IP

La familia de protocolos TCP/IP no sólo se utiliza para referenciar a los dos protocolos más conocidos, los llamados protocolo de control de la transmisión (TCP) y el protocolo Internet (IP), sino que también se utiliza para referenciar a protocolos como el protocolo de datagrama de usuario (UDP), el protocolo de mensajes de control de Internet (ICMP) y las aplicaciones básicas como HTTP, TELNET y FTP. La estructura básica de la familia de protocolos TCP/IP se muestra en la figura 1.27.

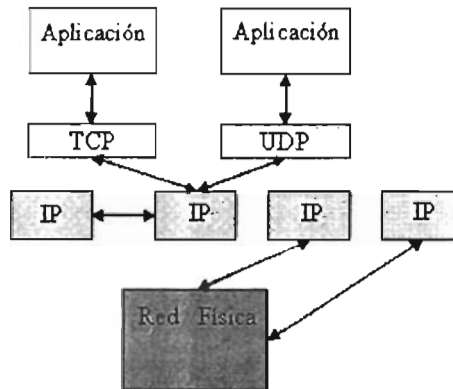


Figura 1.27. Familia de protocolos TCP/IP.

Los protocolos de la capa de aplicación tales como FTP y HTTP envían mensajes utilizando TCP. Los protocolos de la capa de aplicación tales como SNMT y DNS envían sus mensajes utilizando UDP. Las PDU intercambiadas por los protocolos TCP pares se llaman segmentos TCP o segmentos, mientras que aquellas intercambiadas por los protocolos UDP se llaman datagramas UDP o datagramas. IP multiplexa los segmentos TCP y los datagramas UDP y lleva a cabo la fragmentación, si es necesario, entre otras



tareas. Las unidades de datos del protocolo intercambiados por protocolos IP se llaman paquetes IP o paquetes. Los paquetes IP se envían a la interfaz de red para su transporte a través de la red física. En el receptor, la interfaz de red pasa hacia arriba los paquetes y se demultiplexan al protocolo apropiado (IP, ARP o RARP). La entidad IP receptora necesita determinar si el paquete tiene que ser enviado a TCP o UDP Finalmente TCP (UDP) envía cada segmento (datagrama) a la aplicación apropiada basándose en el número de puerto. La red física puede estar implementada en una gran variedad de tecnologías como son Ethernet, anillo con paso de testigo, ATM, PPP sobre varios sistemas de transmisión, y otros más.

La PDU de una capa dada se encapsula en la PDU de la capa de abajo como se muestra en la figura 1.28. En esta figura, la orden GET de HTTP se pasa a la capa TCP, la cual encapsula el mensaje en un segmento TCP. La cabecera del segmento TCP contiene un número de puerto efímero para el proceso cliente y el bien conocido puerto 80 del proceso servido- HTTP. El segmento TCP se pasa, a su vez, a la capa IP, donde se encapsula en un paquete IP. La cabecera del paquete IP contiene una dirección de red IP indicando el emisor y otra dirección de red IP del destino. Se dice que las direcciones de red IP son lógicas ya que están definidas en términos de topología lógica de dispositivos de encaminamiento y sistemas finales. El paquete IP se pasa entonces a través de la interfaz de red y se encapsula en una PDU de la red subyacente. En la figura 1.28, el paquete IP se encapsula en una trama LAN Ethernet.

La cabecera de la trama contiene las direcciones físicas que identifican los sistemas finales físicos del emisor y el receptor. La dirección IP lógica necesita convertirse en una dirección física específica para llevar a cabo la transferencia de los bits desde un dispositivo a otro, esta conversión se hace mediante un protocolo de resolución de direcciones.

Cada computadora en Internet se identifica mediante una dirección IP global única. Una dirección IP se divide en dos partes: un identificador de red y un identificador de





computadora. El identificador de red se debe obtener de la organización autorizada para emitir direcciones IP.

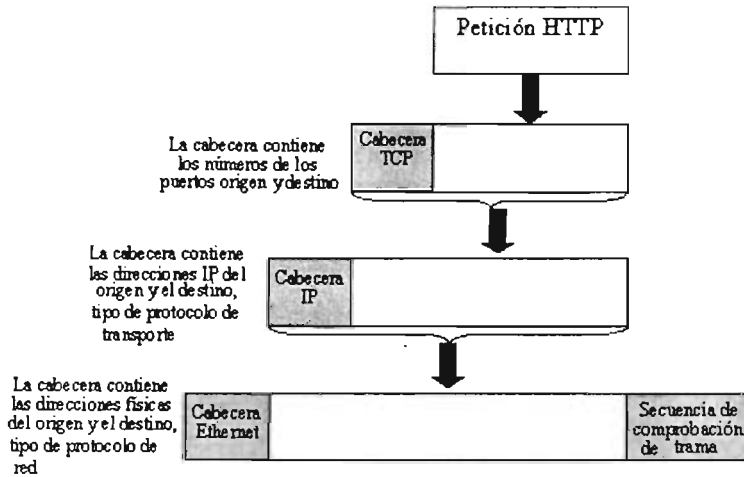


Figura 1.28. Encapsulamiento de PDU en TCP/IP e información de direccionamiento en las cabeceras

La capa Internet proporciona los recursos para transferir información a través de múltiples redes mediante el uso de dispositivos de encaminamiento, como se muestra en la figura 1.29. La capa Internet proporciona un único servicio, llamado transferencia de paquetes no orientada a conexión del mejor esfuerzo. Los paquetes IP se intercambian entre dispositivos de encaminamiento sin el establecimiento de la conexión; se encaminan de forma independiente y pueden atravesar caminos diferentes. Las pasarelas que interconectan las redes intermedias podrían descartar paquetes si encuentran congestión. La responsabilidad de recuperar estas pérdidas se pasa a la capa de transporte.

La capa interfaz de red está involucrada particularmente con los protocolos que se usan para acceder a las redes intermedias. En cada pasarela, el protocolo de red se utiliza para encapsular el paquete IP en un paquete o una trama de la red o enlace subyacente. El paquete IP se recupera en el dispositivo de encaminamiento de salida de la red dada. Este dispositivo de encaminamiento debe determinar el siguiente salto en la ruta al destino y encapsular el paquete IP en el tipo de paquete o trama de la red o enlace siguiente. Este



enfoque proporciona una separación clara entre la capa Internet y la capa interfaz de red dependiente de la tecnología. Este enfoque también permite a la capa Internet proporcionar un servicio de transferencia que es transparente en el sentido de no depender de los detalles de las redes subyacentes. Las diferentes tecnologías de red imponen límites en el tamaño de los bloques que pueden manejar. IP debe acomodar la unidad de transferencia máxima de la red o enlace subyacente implementando mecanismos de fragmentación y reensamblado según necesite.

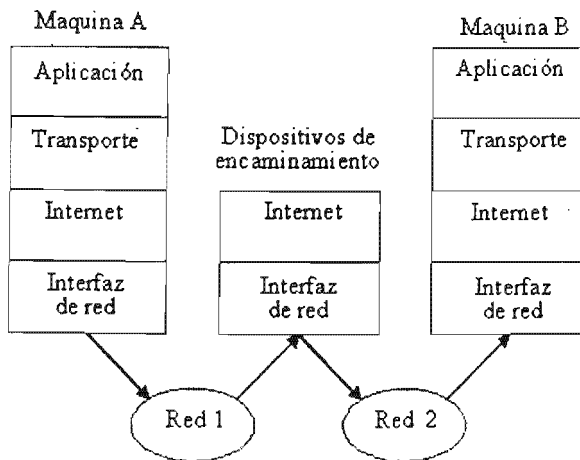


Figura 1.29. Las capas Internet e interfaz de red

Para mejorar la escalabilidad de los protocolos de encaminamiento y, controlar el tamaño de las tablas de encaminamiento, se tienen que introducir nuevos niveles de jerarquía en las direcciones IP. Dentro de un dominio, la dirección de computadora se subdivide aún más en una parte de subred y una parte asociada a la computadora. Existen sistemas que facilitan el encaminamiento dentro de un dominio, permaneciendo transparente al mundo exterior. En el otro extremo, las direcciones de dominios múltiples se pueden agregar para crear súper-redes.

## EL PROTOCOLO INTERNET

El protocolo Internet (IP) es el corazón de la familia de protocolos TCP/IP. IP se corresponde con la capa de red del modelo de referencia OSI y proporciona a la capa de



transporte un servicio no orientado a conexión y de entrega del mejor esfuerzo. Recuérdese que un servicio no orientado a conexión, no requiere que se establezca un circuito virtual antes de que empiece la transferencia de datos. El término mejor esfuerzo indica que IP hará lo posible para reenviar los paquetes a su destino, pero no garantiza que el paquete sea entregado al destino, El término también se utiliza para indicar que IP no ofrece ninguna garantía de QoS<sup>2</sup>. Una aplicación que requiera una gran seguridad debe implementar la función de seguridad dentro de un protocolo en las capas superiores.

### El paquete IP

Para entender el servicio proporcionado por la entidad IP, es útil examinar el formato del paquete IP, que contiene una parte de cabecera y una parte de datos. El formato del paquete IP se muestra en la figura 1.30. La cabecera tiene un componente de longitud fija de 20 bytes más una componente de longitud variable que consta de opciones que pueden ser de hasta 40 bytes. Los paquetes IP se transmiten según el orden de bytes de red: los bits 0-7, primero; después los bits 8-15; después, los bits 16-23, y finalmente los bits 24-31.

0	4	8	16	19	24	31
Versión	IHL	Tipo de servicio		Longitud total		
Identificación				Indicadores	Desplazamiento de fragmentos	
Tiempo de vida		Protocolo		Suma de comprobación de la cabecera		
Dirección IP origen						
Dirección IP destino						
Opciones					Relleno	

Figura 1.30. Cabecera IP versión 4.

Cuando la interfaz de red pasa un paquete IP al dispositivo de encaminamiento tiene lugar el siguiente procesamiento. Primero se calcula la suma de comprobación y se verifican los campos en la cabecera para ver si contienen valores válidos. A continuación se



cambian los campos IP que lo necesitan. Por ejemplo, los campos TTL y suma de comprobación de la cabecera siempre requieren que se actualicen. Después, el dispositivo de encaminamiento identifica el siguiente salto para el paquete IP consultando sus tablas de encaminamiento, por último, el paquete IP se reenvía al siguiente salto.



# CAPÍTULO II

## COMPONENTES DE TRANSMISIÓN VÍA SATÉLITE.



## 2.1 LA HISTORIA DE LOS SATÉLITES

El tipo más sencillo de satélite es el reflector pasivo, un dispositivo que simplemente "rebota" una señal de un lugar a otro. La luna es un satélite natural de la tierra y, como consecuencia, a finales de la década de 1940 y principios de la década de 1950, se convirtió en el primer satélite pasivo. En 1954, la marina de Estados Unidos transmitió exitosamente los primeros mensajes de Tierra a Luna y Tierra. En 1956, se estableció un servicio de transmisión, entre Washington D.C. y Hawai y, hasta 1962, ofreció comunicaciones de larga distancia confiables. El servicio estaba limitado sólo por la disponibilidad de la luna.

En 1957, Rusia lanzó el *Sputnik 1*, el primer satélite terrestre activo. Un satélite activo es capaz de recibir, amplificar y retransmitir información de y a las estaciones terrestres. *Sputnik 1* transmitió información telemétrica por 21 días. Más adelante en el mismo año, Estados Unidos lanzó el *Explorer 1*, el cual transmitió información telemétrica por casi 5 meses.

En 1958, la NASA lanzó el *Score*, un satélite con forma cónica de 150 libras. Con una grabación a bordo, *Score* emitió el mensaje navideño de 1958 del presidente Eisenhower. *Score* fue el primer satélite artificial usado para retransmitir las comunicaciones terrestres. *Score* fue un satélite repetidor retardado; recibía transmisiones de las estaciones terrestres, las almacenaba en cinta magnética y las emitía a las estaciones terrestres más adelante en su órbita. En 1960, la NASA, en conjunción con los Bell Telephone Laboratories y el Jet Propulsion Laboratory, lanzaron a *Echo*, un globo de plástico de 100 pies de diámetro con una capa de aluminio. *Echo* reflejaba pasivamente las señales de radio desde una antena terrestre grande. *Echo* era sencillo y confiable, pero requería de transmisores de extremadamente alta potencia en las estaciones terrestres. La primera transmisión transatlántica utilizando un satélite fue lograda usando *Echo*. Además en 1960, el departamento de defensa lanzó a *Courier*. *Courier* transmitió 3 W de potencia y duró solo 17 días.



En 1962, AT&T lanzó a *Telstar I*, el primer satélite que recibía y transmitía simultáneamente. El equipo electrónico, en *Telstar I*, fue dañado por radiación de los recientemente descubiertos cinturones Van Allen y, consecuentemente duró sólo unas cuantas semanas. *Telstar II* era, electrónicamente, idéntico a *Telstar I*, pero estaba hecho más resistente a la radiación. *Telstar II* fue lanzado en forma exitosa en 1963. Fue usado para transmisiones de teléfono, televisión, facsímiles y de datos. La primera transmisión transatlántica exitosa de video fue lograda por *Telstar II*.

Los primeros satélites fueron del tipo pasivo y activo. Nuevamente, un satélite pasivo es el que simplemente refleja una señal de regreso a la tierra; no hay dispositivos de ganancia a bordo, para amplificar o repetir la señal. Un satélite activo es el que de manera electrónica, repite una señal a la tierra (por ejemplo, recibe, amplifica y retransmite la señal). Una ventaja de los satélites pasivos es que no requieren de equipo electrónico sofisticado a bordo, aunque no necesariamente están sin potencia, algunos satélites pasivos requieren de un transmisor de guía de radio para propósitos de rastreo y rangos. Una guía es una portadora no modulada transmitiendo continuamente a la cual una estación terrestre se puede unir y usar para alinear sus antenas o para determinar la ubicación exacta del satélite. Una desventaja de los satélites pasivos es el uso ineficiente de la potencia transmitida. Con *Echo*, por ejemplo, sólo 1 parte en cada  $10^{18}$  de la potencia transmitida de la estación de tierra fue regresada a la antena de recepción de la estación terrestre.

Los satélites mencionados, son llamados satélites orbitales o no síncronos. Los satélites no síncronos giran alrededor de la Tierra en un patrón elíptico o circular de baja altitud. Si el satélite está girando en la misma dirección que la rotación de la tierra y a una velocidad angular superior que la de la Tierra, la órbita se llama órbita progrado. Si el satélite está girando en la dirección opuesta a la rotación de la tierra o en la misma dirección, pero a una velocidad angular menor a la de la Tierra, la órbita se llama órbita retrógrada.



## 2.2 SATÉLITES GEOESTACIONARIOS

Los satélites geoestacionarios o geosíncronos son satélites que giran en un patrón circular, con una velocidad angular igual a la de la tierra. Consecuentemente, permanecen en una posición fija con respecto a un punto específico en la tierra. Una ventaja obvia es que están disponibles para todas las estaciones de la tierra, dentro de su sombra, 100% de las veces. La sombra de un satélite incluye a todas las estaciones de la tierra que tienen un camino visible a él y están dentro del patrón de radiación de las antenas del satélite. Una desventaja es que a bordo, requieren de dispositivos de propulsión sofisticados y pesados para mantenerlos fijos en una órbita. El tiempo de órbita de un satélite geosíncrono es de 24 h, igual que la tierra.

Hay más de 200 sistemas de comunicaciones por satélite funcionando en el mundo, hoy en día proporcionan circuitos de datos y teléfono de portadora común fija mundial; televisión de cable punto-a-punto (CATV); distribución de televisión en red; radiodifusión de música; servicio de telefonía móvil; redes privadas para corporaciones, agencias del gobierno y aplicaciones militares.

## 2.3 PATRONES ORBITALES

Una vez proyectado, un satélite permanece en órbita debido a que la fuerza centrífuga, causada por su rotación alrededor de la Tierra, es contrabalaceada por la atracción gravitacional de la tierra. Entre más cerca gire de la tierra el satélite, más grande es la atracción gravitacional y mayor será requerida la velocidad para mantenerlo alejado de la tierra. Los satélites de baja altitud tienen órbitas cercanas a la tierra (160 a 480 Km. de altura), viajan aproximadamente a 28,163 Km. por hora. A esta velocidad, se requiere aproximadamente de 1 1/2 h para girar alrededor de toda la tierra. Consecuentemente, el tiempo que el satélite está visible en una estación terrestre en particular, es solamente 1/4 h o menos por órbita. Los satélites de altitud media (9,500 a 19,500 Km. de altura) tienen un periodo de rotación de 5 a 12 h y permanecen a la vista en una estación terrestre específica de 2 a 4 h por órbita. Los satélites geosíncronos de alta altitud (30,500 a 40,000 Km. de altura), viajan a aproximadamente 11,000 Km. por hora y tienen un periodo de rotación de





24 h, exactamente el mismo que la tierra. Consecuentemente, permanecen en una posición fija, con respecto a una estación de la tierra específica y tienen un tiempo de disponibilidad de 24 h. En la figura 2.1 puede observarse que tres satélites geosíncronos con órbitas altas, igualmente espaciadas girando alrededor de la tierra, arriba del ecuador, podrán cubrir todo el trayecto, excepto las áreas no pobladas de los polos norte y sur.

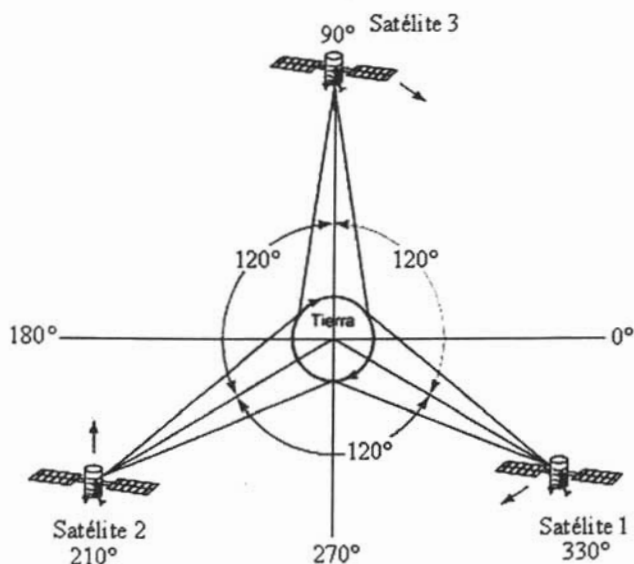


Figura 2.1 Tres satélites geosíncronos en órbita de Clarke

La figura 2.2 muestra los tres trayectos que un satélite puede tomar, conforme gira alrededor de la tierra. Cuando el satélite gira en una órbita arriba del ecuador, se llama órbita ecuatorial. Cuando un satélite gira en una órbita que lo lleva arriba de los polos norte y sur, se llama órbita polar. Cualquier otro trayecto orbital se llama órbita inclinada. Un nodo ascendente, es el punto en donde la órbita cruza el plano ecuatorial de sur a norte; un nodo descendente, es el punto en donde la órbita cruza el plano ecuatorial de norte a sur, la línea que une a los nodos ascendentes y descendentes, por el centro de la tierra, se llama línea de nodos.



Es interesante observar que 100% de la superficie de la tierra se puede cubrir con un solo satélite, en una órbita polar, si el satélite está girando alrededor de la tierra en una órbita longitudinal, mientras que la tierra está girando en un eje latitudinal.

Consecuentemente, el patrón de radiación del satélite es una espiral diagonal, alrededor de la tierra, la cual se asemeja a un polo de barbero. Como resultado, cada sitio en la tierra cae dentro del patrón de radiación del satélite dos veces cada día.

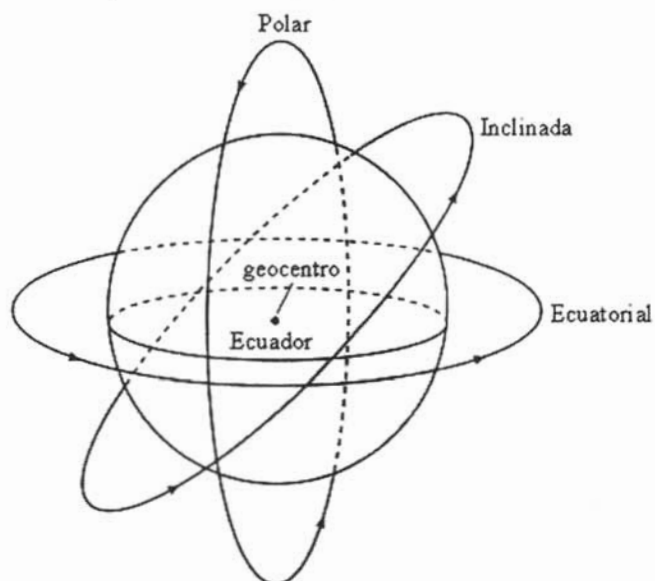


Figura 2.2 Clases de órbitas de satélite

### Ventajas de las órbitas geosíncronas

1. El satélite permanece casi estacionario, con respecto a una estación terrestre específica. Consecuentemente, no se requiere equipo costoso de rastreo en las estaciones terrestres.

2. No hay necesidad de cambiar de un satélite a otro, cuando giran por encima. Consecuentemente, no hay rupturas en la transmisión por los tiempos de conmutación.

3. Los satélites geosíncronos de gran altitud pueden cubrir un área de la tierra mucho más grande, que sus contrapartes orbitales de baja altitud.



4. Los efectos del cambio de posición Doppler<sup>1</sup> son insignificantes.

### Desventajas de las órbitas geosíncronas

1. Las altitudes superiores de los satélites geosíncronos introducen tiempos de propagación más largos. El retardo de propagación del viaje redondo entre dos estaciones terrenas, por medio de un satélite geosíncrono, es de 500 a 600 ms.
2. Los satélites geosíncronos requieren de alta potencia de transmisión y receptores más sensibles debido a las distancias más grandes y mayores pérdidas de trayectoria.
3. Se requieren maniobras espaciales de alta precisión para colocar un satélite geosíncrono en órbita y mantenerlo. Además, se requieren los motores de propulsión, a bordo de los satélites, para mantenerlos en sus órbitas respectivas.

## 2.4 ÁNGULOS DE VISTA

Para orientar una antena desde una estación terrena hacia un satélite, es necesario conocer el ángulo de elevación y azimut (figura 2.3), a estos se llaman ángulos de vista.

### 2.4.1 ÁNGULO DE ELEVACIÓN.

El ángulo de elevación es el ángulo formado entre la dirección de viaje de una onda radiada desde una antena de estación terrena y la horizontal, o el ángulo de la antena de la estación terrena entre el satélite y la horizontal.

Entre mas pequeño sea el ángulo de elevación, mayor será la distancia que una onda propagada debe pasar por la atmósfera de la tierra. Consecuentemente, si el ángulo de elevación es demasiado pequeño y la distancia de la onda que está dentro de la atmósfera de la tierra es demasiado larga, la onda puede deteriorarse hasta el grado que proporcione una transmisión inadecuada. Generalmente, 5° es considerado como el mínimo ángulo de elevación aceptable.

---

<sup>1</sup> Doppler: Cambio de frecuencia que sufren las ondas cuando el foco emisor tiene respecto del observador un movimiento relativo.



La figura muestra cómo el ángulo de elevación afecta la intensidad de la señal de una onda propagada debido a la absorción atmosférica normal, absorción debida a neblina pesada, y absorción debida a fuerte lluvia.

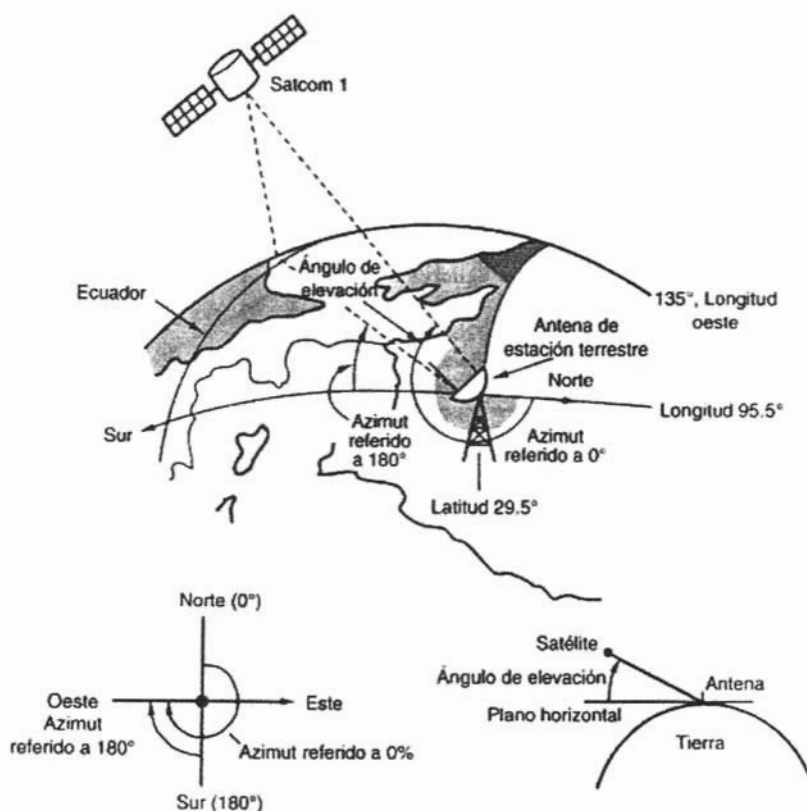


Figura 2.3 Azimut y ángulo de elevación, “ángulos de vista”.

Puede observarse que la banda 14/12 GHz (figura 2.4b) es, severamente más afectada que la banda 6/4 GHz (figura 2.4a). Esto se debe a las longitudes de onda más pequeñas asociadas con las frecuencias más altas. Además, en ángulos de elevación menores que 5°, la atenuación se incrementa rápidamente.

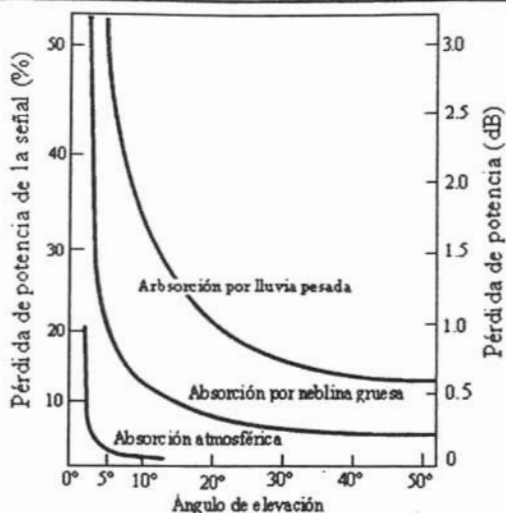


Figura 2.4 (a) Atenuación debida a la absorción atmosférica banda de 6/4 GHz

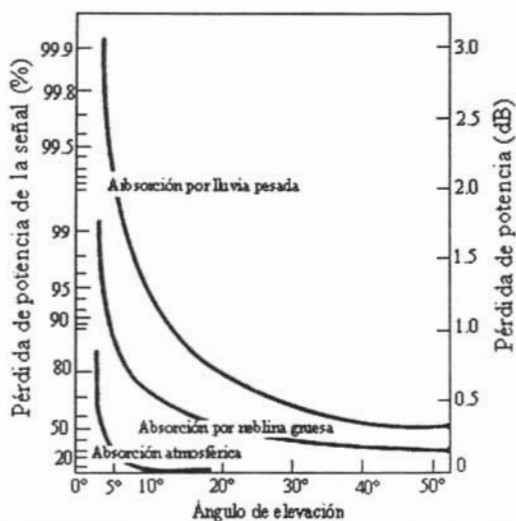


Figura 2.4 (b) Atenuación debida a la absorción atmosférica banda 14/12 GHz

#### 2.4.2 Azimut

Azimut se define como el ángulo de apuntamiento horizontal de una antena, normalmente se mide en una dirección, según las manecillas del reloj, en grados del norte verdadero. El ángulo de elevación y el azimut, dependen ambos, de la latitud de la estación



terrena y la longitud de la estación terrena, así como el satélite en órbita. Para un satélite geosíncrono, en una órbita ecuatorial, el procedimiento es el siguiente: de un buen mapa, determine la longitud y latitud de la estación terrestre, determine la longitud del satélite de interés. Calcule la diferencia, en grados ( $\Delta L$ ), entre la longitud del satélite y la longitud de la estación terrena, entonces, determine el azimut y ángulo de elevación para la antena.

## 2.5 TIPOS DE SATÉLITES

Hay dos clasificaciones principales para los satélites de comunicaciones: hiladores (spinners) y satélites estabilizadores de tres ejes. Los satélites spinner, utilizan el movimiento angular de su cuerpo giratorio para proporcionar una estabilidad de giro con un estabilizador de tres ejes, el cuerpo permanece fijo en relación a la superficie de la tierra, mientras que el subsistema interno proporciona una estabilización de giro. La figura 2.6 muestra las dos clasificaciones principales de los satélites de comunicación.

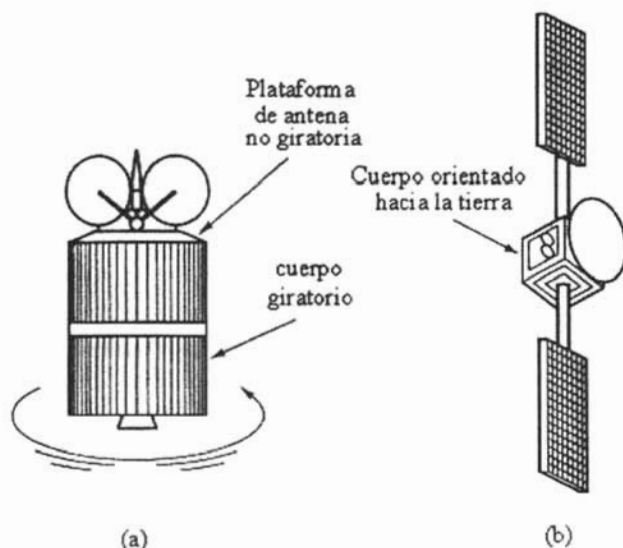


Figura 2.6 Clases de satélites: (a) hilador; (b) estabilizador de tres ejes



## 2.6 ESPACIAMIENTO Y ASIGNACIONES DE FRECUENCIA

Los satélites geosíncronos deben compartir un espacio y espectro de frecuencia limitados, dentro de un arco específico, en una órbita geoestacionaria. Cada satélite de comunicación se asigna una longitud en el arco geoestacionario, aproximadamente a 35,800 Km., arriba del ecuador. La posición en la ranura depende de la banda de frecuencia de comunicación utilizada. Los satélites trabajando, en o casi en la misma frecuencia, deben estar lo suficientemente separados en el espacio para evitar interferir uno con otro (figura 2.7).

Hay un límite realista del número de estructuras satelitales que pueden estar estacionadas (estacionarse), en un área específica en el espacio, la separación espacial requerida depende de las siguientes variables:

1. Ancho del haz y radiación del lóbulo lateral de la estación terrena y antenas del satélite
2. Frecuencia de la portadora de RF
3. Técnica de codificación o de modulación usada
4. Límites aceptables de interferencia.
5. Potencia de la portadora de transmisión.

Generalmente, se requieren 3° a 6° de separación espacial dependiendo de las variables establecidas anteriormente.

Las frecuencias de la portadora, más comunes, usadas para las comunicaciones por satélite, son las bandas 6/4 y 14/12 Ghz. El primer número es la frecuencia de subida (ascendente) (estación terrena a transponder) y el segundo número es la frecuencia de bajada (descendente) (transponder a estación terrena). Diferentes frecuencias de subida y de bajada se usan para prevenir que ocurra repetición.

Entre más alta sea la frecuencia de la portadora, más pequeño es el diámetro requerido de la antena para una ganancia específica. La mayoría de los satélites domésticos utilizan la banda de 6/4 Ghz.



Desafortunadamente, esta banda también se usa extensamente para los sistemas de microondas terrestres. Se debe tener cuidado cuando se diseña una red satelital para evitar interferencia de, o interferencia con enlaces de microondas establecidas.

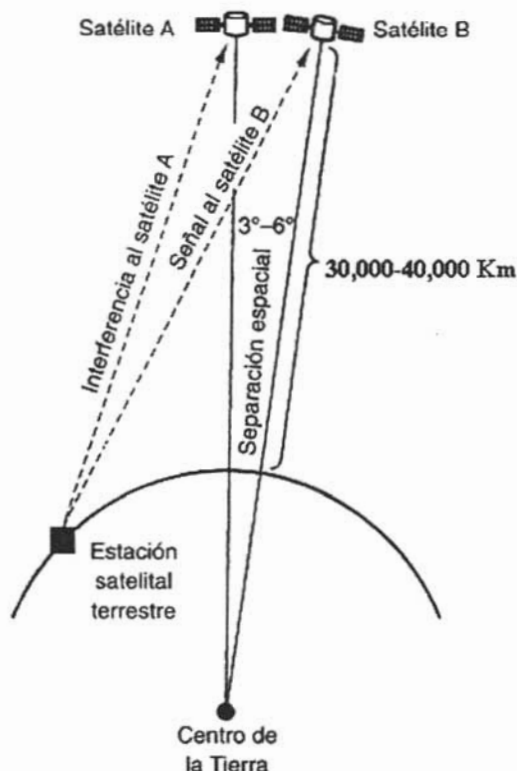


Figura 2.7. Separación espacial de satélites en una órbita geosíncrona.

## 2.7 PATRONES DE RADIACIÓN: HUELLAS

El área de la tierra cubierta por un satélite depende de la ubicación del satélite en su órbita geosíncrona, su frecuencia de portadora y la ganancia de sus antenas. Los ingenieros satelitales seleccionan la frecuencia de la portadora y la antena para un satélite, en particular, para concentrar la potencia transmitida limitada en un área específica de la superficie de la tierra.





La representación geográfica del patrón de radiación de la antena de un satélite se llama una huella (figura 2.8). Las líneas de contorno representan los límites de la densidad de potencia de igual recepción.



El patrón de radiación de una antena de satélite se puede catalogar como de punto, zonal o tierra (figura 2.9). Los patrones de radiación de las antenas de cobertura de tierra tienen un ancho de haz de casi  $17^\circ$ .

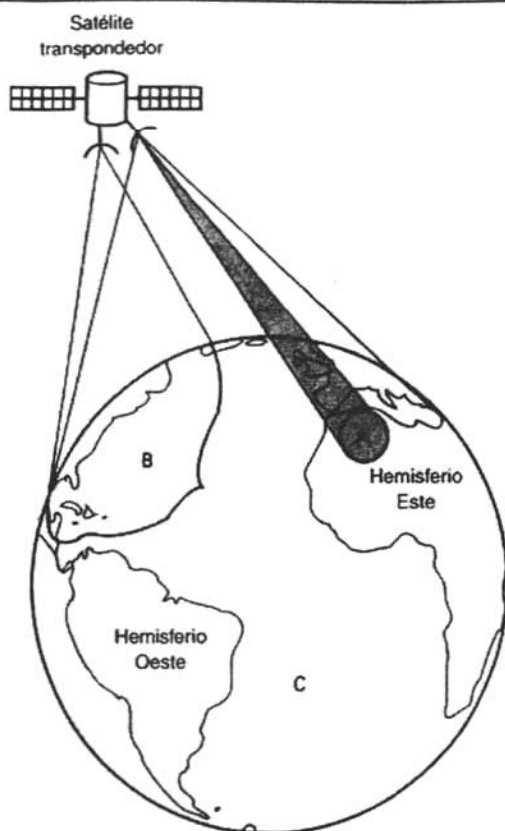


Figura 2.9 Haces: (a) localizado; (b) zonal; (c) global.

## 2.8 ANTENAS

### OPERACIÓN BÁSICA DE LA ANTENA

La operación básica de la antena se comprende mejor al observar los patrones de ondas estacionarias de voltaje en una línea de transmisión, los cuales se muestran en la figura 2.10a. La línea de transmisión termina en un circuito abierto, que representa una discontinuidad abrupta en la onda de voltaje incidente en la forma de una inversión de fase.

La inversión de la fase resulta cuando parte del voltaje incidente se irradia, en lugar de ser reflejado de nuevo a la fuente. La energía radiada se propaga lejos de la antena en



forma de ondas electromagnéticas transversales. La eficiencia de radiación de una línea de transmisión abierta es en extremo baja.

La eficiencia de radiación es la relación entre la energía radiada y la energía reflejada. Para radiar más energía, sólo hay que separar más los conductores. Una antena así se le llama dipolo (que significa dos polos) y se muestra en la figura 2.10b.

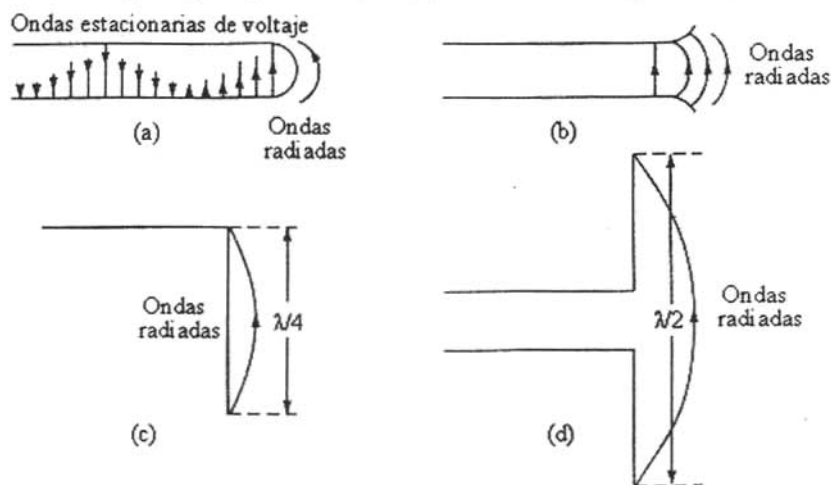


Figura 2.10. Radiación de una línea de transmisión: (a) radiación de la línea de transmisión; (b) conductores difusores; (c) antena Marconi; (d) antena Hertz.

En la figura 2.10c, los conductores están separados en línea recta a una longitud total de un cuarto de longitud de onda. Dicha antena se llama dipolo de un cuarto de onda básico o monopolo vertical (que a veces se le llama antena Marconi) Un dipolo de media onda se llama antena Hertz y se muestra en la figura 2.10d.

## TÉRMINOS Y DEFINICIONES DE ANTENAS

### 2.9.1 PATRÓN DE RADIACIÓN.

Un patrón de radiación es un diagrama polar o gráfica que representa las intensidades de los campos o las densidades de potencia en varias posiciones angulares en



relación con una antena. Si el patrón de radiación se traza en términos de la intensidad del campo eléctrico ( $\epsilon$ ) o de la densidad de potencia ( $P$ ), se llama patrón de radiación absoluto. Si se traza la intensidad del campo o la densidad de potencia en relación al valor en un punto de referencia, se llama patrón de radiación relativo. La figura 2.11a muestra un patrón de radiación absoluto para una antena no especificada. El patrón se traza sobre papel con coordenadas polares con la línea gruesa sólida representando los puntos de igual densidad de potencia ( $10 \mu\text{W}/\text{m}^2$ ). Los gradientes circulares indican la distancia en pasos de dos kilómetros. Puede verse que la radiación máxima está en una dirección de  $90^\circ$  de la referencia. La densidad de potencia a 10 kilómetros de la antena en una dirección de  $90^\circ$  es  $10 \mu\text{W}/\text{m}^2$ . En una dirección de  $45^\circ$ , el punto de igual densidad de potencia es cinco kilómetros de la antena; a  $180^\circ$  está a solamente 4 kilómetros; y en una dirección de  $-90^\circ$ , en esencia no hay radiación.

En la figura 2.11a el haz principal se encuentra en una dirección de  $90^\circ$  y se llama lóbulo principal. Puede existir más de un lóbulo principal, también hay un haz secundario o lóbulo menor en una dirección de  $-180^\circ$ . Normalmente, los lóbulos menores representan radiación o recepción indeseada debido a que el lóbulo principal propaga y recibe la mayor parte de la energía, ese lóbulo se llama lóbulo frontal (la parte frontal de la antena). Los lóbulos adyacentes al lóbulo frontal se llaman lóbulos laterales (el lóbulo menor de  $180^\circ$  es un lóbulo lateral), y los lóbulos que están en dirección exactamente opuesta al lóbulo frontal se llaman los lóbulos traseros (en este patrón no se muestra ningún lóbulo trasero). La relación de la potencia del lóbulo frontal con la potencia del lóbulo trasero se llama sólo relación frontal a trasero, y la relación del lóbulo frontal con el lóbulo lateral se llama relación frontal a lateral. La línea que divide el lóbulo principal desde el centro de la antena en la dirección de máxima radiación se llama línea de tiro.

La figura 2.11b muestra un patrón de radiación relativo para una antena no especificada. La línea gruesa sólida representa puntos de igual distancia desde la antena (10 kilómetros), y los gradientes circulares indican la densidad de potencia en divisiones de  $1 \mu\text{W}/\text{m}^2$ . Puede verse que la radiación máxima ( $5 \mu\text{W}/\text{m}^2$ ) está en dirección a la referencia



(0°), y la antena irradia la menor potencia ( $1 \mu\text{W}/\text{m}^2$ ) en una dirección de 180° de la referencia. En consecuencia, la relación de frontal a trasero es 5:1 = 5. Por lo general, la intensidad del campo relativo y la densidad de potencia se trazan en decibeles (dB), en donde  $\text{dB} = 20 \log(E/E_{\text{máximo}})$  o  $10 \log(P/P_{\text{máximo}})$ .

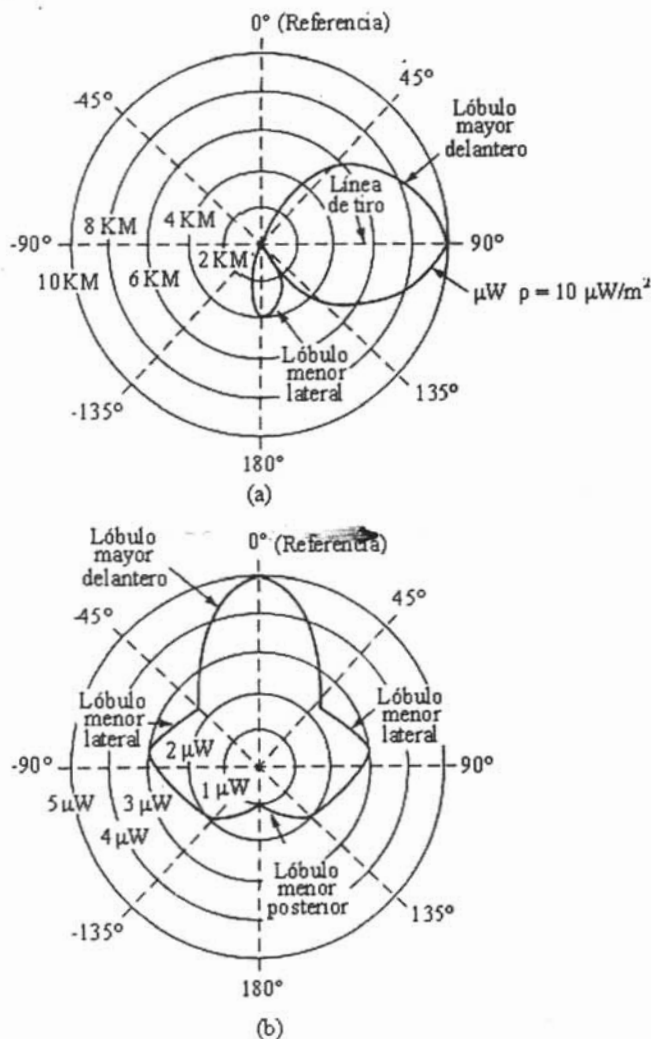


Figura 2.11 Patrones de radiación: (a) patrón de radiación absoluta (distancia fija)  
(b) patrón de radiación relativa (distancia fija); (continua).



La figura 2.11c muestra un patrón de radiación relativo para la densidad de potencia en decibelios. En una dirección de  $\pm 45^\circ$  de la referencia, la densidad de potencia es -3 dB (media potencia) relativa a la densidad de potencia en la dirección de máxima radiación ( $0^\circ$ ).

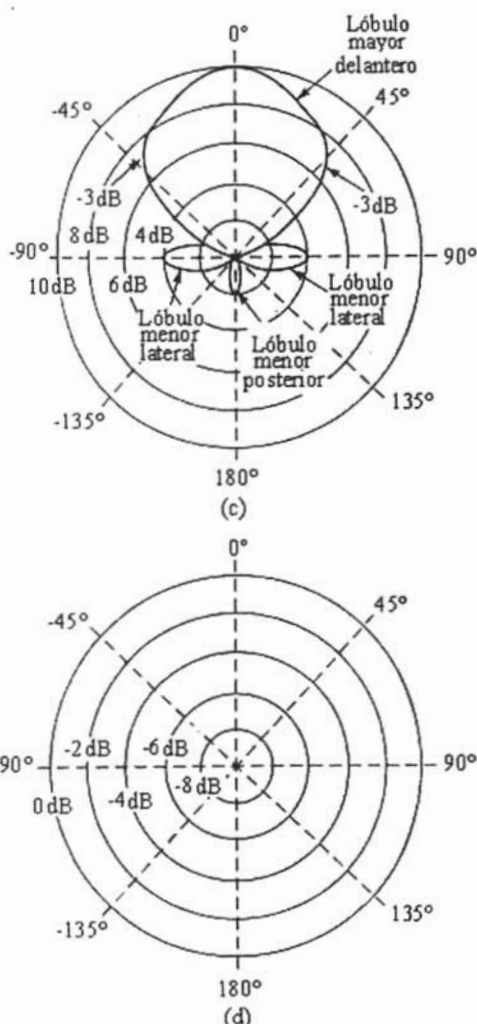


Figura 2.11 (continuación): (c) patrón de radiación relativa (distancia fija) en decibelios; (b) patrón de radiación relativa (distancia fija) en decibelios para una antena direccional (fuente puntual).



La figura 2.11d muestra un patrón de radiación relativo para la densidad de potencia para una antena omnidireccional. Una antena omnidireccional irradia energía equitativamente en todas direcciones; por tanto, el patrón de radiación es sólo un círculo (en realidad, una esfera). Además, con la antena omnidireccional, no hay lóbulos frontales, traseros o laterales porque la radiación es igual en todas direcciones.

Los patrones de radiación mostrados en la figura 2.11 están en dos dimensiones. Sin embargo, la radiación proveniente de una antena real es tridimensional. Por consiguiente, los patrones de radiación se toman en ambos planos, el horizontal (desde arriba) y el vertical (desde un lado). Para la antena omnidireccional que se muestra en la figura 2.11d, los patrones de radiación en los planos horizontales y verticales son circulares e iguales, porque el patrón de radiación real para un radiador isotrópico es una esfera.

## 2.9.2 CAMPOS CERCANOS Y LEJANOS.

El campo de radiación que se encuentra cerca de una antena no es igual que el campo de radiación que se encuentra a gran distancia. El término campo cercano se refiere al patrón de campo que está cerca de la antena, y el término campo lejano se refiere al patrón de campo que está a gran distancia. La potencia se irradia desde una antena, en donde parte de la potencia se guarda temporalmente en el campo cercano. Durante la segunda mitad del ciclo, la potencia que está en el campo cercano regresa a la antena. Esta acción es similar a la forma en que un inductor guarda y suelta energía. Por tanto, el campo cercano se llama a veces *campo de inducción*. La potencia que alcanza el campo lejano continúa irradiando lejos y nunca regresa a la antena. Por tanto, el campo lejano se llama *campo de radiación*. La potencia de radiación, por lo general, es la más importante de las dos; por consiguiente, los patrones de radiación de la antena, por lo regular se dan para el campo lejano. El campo cercano se define como el área dentro de una distancia  $D^2/\lambda$  de la antena, en donde  $\lambda$  es la longitud de onda y  $D$  el diámetro de la antena en las mismas unidades.



### 2.9.3 RESISTENCIA DE RADIACIÓN Y EFICIENCIA DE ANTENA

No toda la potencia suministrada a la antena se irradia. Parte de ella se convierte en calor y se disipa. La resistencia de radiación es un poco "irreal", en cuanto a que no puede ser medida directamente. La resistencia de radiación es una resistencia de la antena en c.a. y es igual a la relación de la potencia radiada por la antena al cuadrado de la corriente en su punto de alimentación. Matemáticamente, la resistencia de radiación es:

$$R_r = \frac{P}{i^2} \quad (13)$$

donde:  $R_r$  = resistencia de radiación (ohms)

$P$  = potencia radiada por la antena (Watts)

$i$  = corriente de la antena en el punto de alimentación (Amperes)

La resistencia de radiación es la resistencia que, si reemplazara la antena, disiparía exactamente la misma cantidad de potencia de la que irradia la antena. La eficiencia de la antena es la relación de la potencia radiada por una antena a la suma de la potencia radiada y la potencia disipada o la relación de la potencia radiada por la antena con la potencia total de entrada. Matemáticamente, la eficiencia de antena es:

$$\eta = \frac{P_r}{P_r + P_d} \times 100 \quad (14)$$

donde:  $\eta$  = eficiencia de antena (%)

$P_r$  = potencia radiada por la antena (watts)

$P_d$  = potencia disipada en la antena (watts)

La figura 2.12 muestra un circuito equivalente eléctrico simplificado para una antena. Parte de la potencia de entrada se disipa en las resistencias efectivas (resistencia de tierra, corona, dieléctricos imperfectos, corrientes de eddy, etc.) y la restante se irradia. El total de la potencia de la antena es la suma de las potencias disipada y radiada. Por tanto, en términos de resistencia y corriente, la eficiencia de la antena es:





$$\eta = \frac{i^2 R_r}{i^2 (R_r + R_e)} = \frac{R_r}{R_r + R_e} \quad (15)$$

donde:  $\eta$  = eficiencia de antena

$i$  = corriente de la antena (amperes)

$R_r$  = resistencia de radiación (ohms)

$R_e$  = resistencia de la antena efectiva (ohms)

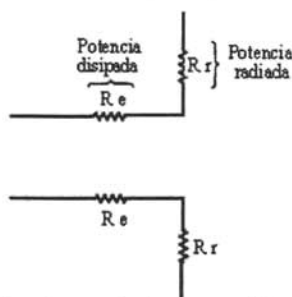


Figura 2.12. Circuito equivalente simplificado de una antena

#### 2.9.4 GANANCIA DIRECTIVA Y GANANCIA DE POTENCIA

Los términos *ganancia directiva* y *ganancia de potencia* con frecuencia no se comprenden y, por tanto, se utilizan incorrectamente. La ganancia directiva es la relación de la densidad de potencia radiada en una dirección en particular con la densidad de potencia radiada al mismo punto por una antena de referencia suponiendo que ambas antenas irradian la misma cantidad de potencia. El patrón de radiación para la densidad de potencia relativa de una antena es realmente un patrón de ganancia directiva si la referencia de la densidad de potencia se toma de una antena de referencia estándar, que por lo general es una antena isotrópica. La máxima ganancia directiva se llama directividad. Matemáticamente, la ganancia directiva es:

$$D = \frac{P}{P_{ref}} \quad (16)$$

donde:  $D$  = ganancia directiva (sin unidades)

$P$  = densidad de potencia en algún punto de una antena determinada ( $W/m^2$ )

$P_{ref}$  = densidad de potencia en el mismo punto de una antena de referencia ( $W/m^2$ ).



La *ganancia de potencia* es igual a la ganancia directiva excepto que se utiliza el total de potencia que alimenta a la antena (o sea, que se toma en cuenta la eficiencia de la antena). Se supone que la antena indicada y la antena de referencia tienen la misma potencia de entrada y que la antena de referencia no tiene pérdidas ( $\eta = 100\%$ ). La ganancia de potencia ( $A_p$ ) es:

$$A_p = D\eta \quad (17)$$

Si una antena no tiene pérdidas, irradia 100% de la potencia de entrada y la ganancia de potencia es igual a la ganancia directiva. La ganancia de potencia para una antena también se da en decibeles en relación con alguna antena de referencia. Por tanto, la ganancia de potencia es:

$$A_p = 10 \log \frac{P\eta}{P_{ref}} \quad (18)$$

Es importante considerar que la potencia radiada de una antena nunca puede exceder la potencia de entrada. Por tanto, la antena realmente no amplifica la potencia de entrada. Una antena sólo concentra su potencia radiada en una dirección en particular. Por consiguiente, los puntos que se localizan en áreas donde la potencia radiada se concentra, realizan una ganancia aparente relativa a la densidad de potencia en los mismos puntos si se hubiera usado una antena isotrópica.

Si la ganancia se realiza en una dirección, tiene que realizarse una reducción correspondiente en la densidad de potencia (una pérdida) en otra dirección. La dirección en la que está "apuntando" la antena es siempre la dirección de máxima radiación. Debido a que una antena es un dispositivo recíproco, su patrón de radiación es también su patrón de recepción. Para una máxima potencia capturada, una antena receptora tiene que estar apuntando hacia la dirección donde se desea la recepción. Por tanto, las antenas receptoras tienen una directividad y una ganancia de potencia exactamente como las antenas transmisoras.



### 2.9.5 POTENCIA RADIADA ISOTRÓPICA EFECTIVA

La *potencia radiada isotrópica efectiva* (EIRP) se define como una potencia de transmisión equivalente y se expresa matemáticamente como:

$$\text{EIRP} = P_r A_t, \text{ Watts} \quad (19)$$

donde:  $P_r$  = potencia total radiada (watts)

$A_t$  = ganancia directiva de la antena transmisora (sin unidades)

o

$$\text{EIRP (dBm)} = 10 \log \frac{P_r}{0.001} + 10 \log A_t \quad (20)$$

La ecuación 19 puede reescribirse utilizando la potencia de entrada y la ganancia de potencia de la antena como:

$$\text{EIRP} = P_{\text{entrada}} A_p \quad (21)$$

EIRP o sólo ERP (potencia radiada efectiva) es la potencia equivalente que tendría que radiar una antena isotrópica para alcanzar la misma densidad de potencia en la dirección seleccionada en un punto determinado, como otra antena. Por ejemplo, si una antena determinada tiene una ganancia de potencia de 10, la densidad de potencia es 10 veces mayor de lo que habría sido si la antena hubiera sido un radiador isotrópico. Una antena isotrópica tendría que radiar 10 veces esa cantidad de potencia para lograr la misma densidad de potencia. Por consiguiente, dicha antena irradia efectivamente 10 veces más potencia que una antena isotrópica con la misma potencia de entrada y eficiencia.

Para determinar la densidad de potencia en un punto determinado, se expande la ecuación

$$P_a = \frac{P_r}{4\pi R^2} \quad (22)$$

para incluir la ganancia de la antena transmisora, se escribe como:



$$P_a = \frac{P_r A_t}{4\pi R^2} \quad (23)$$

donde:  $P_r$  = potencia total radiada (watts)

$R$  = radio de la esfera (el cual es igual a la distancia desde cualquier punto en la superficie de la esfera a la fuente).

$A_t$  = ganancia directiva de la antena transmisora (sin unidades)

$4\pi R^2$  = área de la esfera

Las antenas son dispositivos recíprocos; por tanto, una antena tiene la misma ganancia de potencia y directividad, cuando se utiliza para recibir ondas electromagnéticas como lo tiene para transmitir las ondas electromagnéticas. En consecuencia, la potencia recibida o capturada por una antena es el producto de la densidad de potencia en el espacio que rodea inmediatamente la antena y la ganancia directiva de ésta. Por tanto, la ecuación 23 puede extenderse a:

$$C = \frac{P_r A_t A_r}{4\pi R^2} \quad (24)$$

donde:  $C$  = densidad de potencia ( $W/m^2$ )

$A_t$  = ganancia de la antena transmisora

$A_r$  = ganancia de la antena receptora

$R$  = distancia entre las antenas (metros)

No toda la potencia capturada puede utilizarse; parte se disipa en la antena receptora. La potencia recibida que realmente puede utilizarse es el producto de la densidad de potencia recibida, la ganancia directa de la antena receptora, y la eficiencia de la antena receptora o la densidad de potencia recibida multiplicada por la ganancia de potencia de la antena receptora.

## 2.9.6 POLARIZACIÓN DE LA ANTENA

La polarización de una antena se refiere sólo a la orientación del campo eléctrico radiado desde ésta. Una antena puede polarizarse en forma lineal (por lo regular, polarizada horizontal o verticalmente, suponiendo que los elementos de la antena se encuentran dentro



de un plano horizontal o vertical), en forma elíptica, o circular. Si una antena irradia una onda electromagnética polarizada verticalmente, la antena se define como polarizada verticalmente; si la antena irradia una onda electromagnética polarizada horizontalmente, se dice que la antena está polarizada horizontalmente; si el campo eléctrico radiado gira en un patrón elíptico, está polarizada elípticamente; y si el campo eléctrico gira en un patrón circular, está polarizada circularmente.

### 2.9.7 ANCHO DEL HAZ DE LA ANTENA

El ancho del haz de la antena es sólo la separación angular entre los dos puntos de media potencia (-3 dB) en el lóbulo principal del patrón de radiación del plano de la antena, por lo general tomado en uno de los planos "principales". El ancho del haz para la antena, cuyo patrón de radiación se muestra en la figura 2.13, es el ángulo formado entre los puntos A, X y B (ángulo  $\theta$ ). Los puntos A y B son los puntos de media potencia (la densidad de potencia en estos puntos es la mitad de lo que es, una distancia igual de la antena en la dirección de la máxima radiación). El ancho del haz de la antena se llama ancho de haz de -3 dB o ancho de haz de media potencia.

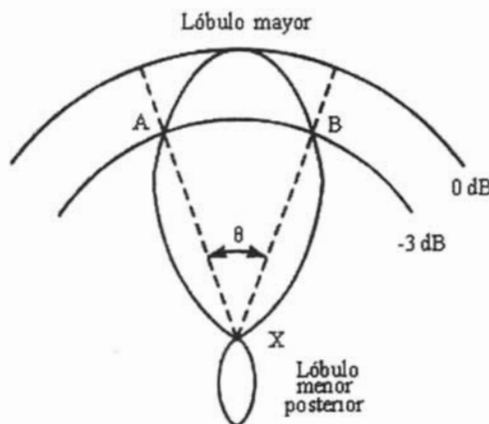


Figura 2.13 Abertura de haz de antena



### 2.9.8 ANCHO DE BANDA DE LA ANTENA

El *ancho de banda* de la antena se define como el rango de frecuencias sobre las cuales la operación de la antena es “satisfactoria”. Esto, por lo general, se toma entre los puntos de media potencia, pero a veces se refiere a las variaciones en la impedancia de entrada de la antena.

### IMPEDANCIA DE ENTRADA DE LA ANTENA

La radiación proveniente de una antena es el resultado directo del flujo de corriente de RF. La corriente fluye a la antena a través de la línea de transmisión, que está conectada a un espacio pequeño entre los conductores que componen la antena. El punto en la antena donde se conecta la línea de transmisión se llama terminal de entrada de la antena o solamente punto de alimentación. El punto de alimentación presenta una carga en ca a la línea de transmisión llamada impedancia de entrada de la antena. Si la impedancia de salida del transmisor y la impedancia de entrada de la antena son iguales a la impedancia característica de la línea de transmisión, no habrá ondas estacionarias en la línea, y se transfiere la potencia máxima a la antena y se irradia.

La impedancia de entrada de la antena es sólo la relación del voltaje de entrada de la antena con la corriente de entrada. Matemáticamente, la impedancia de entrada es

$$Z_{\text{entrada}} = \frac{E_i}{I_i} \quad (25)$$

donde:  $Z_{\text{entrada}}$  = impedancia de entrada de la antena (ohms)

$E_i$  = voltaje de entrada de la antena (volts)

$I_i$  = corriente de entrada de la antena (amperes)

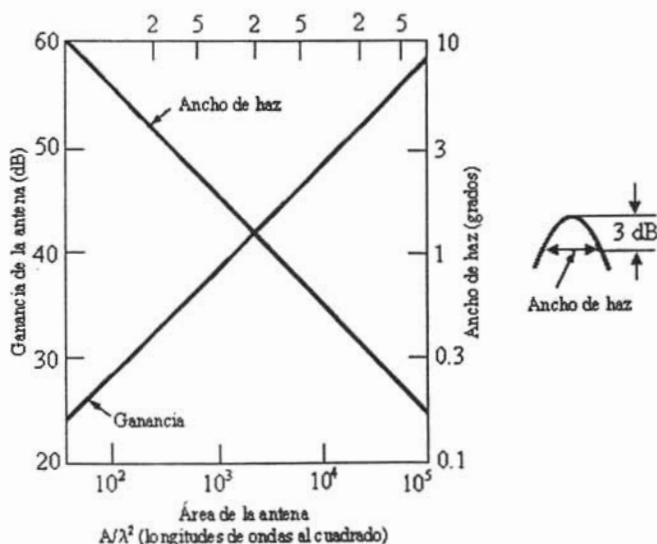
La impedancia de entrada de la antena generalmente es compleja. Sin embargo, si el punto de alimentación se encuentra en un máximo de corriente y no hay componente reactiva, la impedancia de entrada es igual a la suma de la impedancia de radiación y la impedancia efectiva.



### 2.9.9 ANTENA DE UHF Y MICROONDAS

Las antenas utilizadas para UHF (0.3 a 3 GHz) y microondas (1 a 100 GHz) tienen que ser altamente directivas. Una antena tiene una ganancia aparente porque concentra la potencia irradiada en un haz angosto en lugar de enviarlo en forma uniforme en todas las direcciones, y el ancho de haz se reduce con los incrementos en la ganancia de la antena. La relación entre el área de la antena, ganancia, y ancho de haz se muestran en la figura 2.14. Las antenas de microondas casi siempre tienen anchos de haz de media potencia en el orden de  $1^\circ$  o menos. Un ancho de haz angosto minimiza los efectos de la interferencia de fuentes externas y antenas adyacentes. Sin embargo, para transmisión de líneas de vista, como las utilizadas con los radios de microondas, un ancho de haz angosto impone varias

limitaciones, como la estabilidad mecánica y el desvanecimiento, que pueden producir problemas en la alineación de la antena.



Nota: La abscisa es el área real de la antena, y la ganancia real de la antena se toma como 3 dB debajo de lo teórico.

Figura 2.14. Relación entre la ganancia de potencia y el ancho de haz de una antena.



Toda la energía electromagnética emitida por una antena de microondas no se difunde en la dirección del lóbulo principal (haz); parte se concentra en los lóbulos menores llamados los lóbulos laterales, que pueden ser fuentes de interferencia en o desde otras trayectorias de señales de microondas. La figura 2.15 muestra la relación entre el haz principal y los lóbulos laterales para una antena de microondas típica, como un reflector parabólico.

Tres características importantes de las antenas de microondas son la relación frontal a trasero, acoplamiento de lado a lado, y acoplamiento trasero a trasero. La relación de frontal a trasero de una antena se define como la relación de su ganancia máxima en la dirección frontal con su ganancia máxima en la dirección trasera. La relación frontal a trasero de una antena en una instalación real puede ser de 20 dB o más por debajo de su valor de espacio libre o aislado debido a las reflexiones en primer plano de los objetos en o cerca del lóbulo de transmisión principal. La relación frontal a trasero de una antena de microondas es crítico en el diseño de sistemas de radio porque las antenas transmisoras y receptoras en estaciones repetidoras a menudo se localizan frente a frente en la misma estructura.

Las antenas altamente direccionales (alta ganancia) se utilizan en sistema de microondas de punto a punto. Al concentrar la energía de radio en un haz angosto que se puede dirigir hacia la antena receptora, la antena transmisora puede incrementar la potencia radiada efectiva por varias órdenes de magnitud sobre la de una antena no direccional. La antena receptora, en forma análoga a un telescopio, también puede incrementar la potencia recibida efectiva por una cantidad similar. El tipo más común de la antena utilizada para transmisión y recepción de microondas es el reflector parabólico.

#### *Antena reflectora parabólica*

Las antenas reflectoras parabólicas proporcionan una ganancia y una directividad extremadamente altas y son muy populares para los radios de microondas y el enlace de comunicaciones por satélite. Una antena parabólica se compone de dos partes principales:





un reflector parabólico y el elemento activo llamado mecanismo de alimentación. En esencia, el mecanismo de alimentación aloja la antena principal (por lo general un dipolo o una tabla de dipolo), que irradia ondas electromagnéticas hacia el reflector.

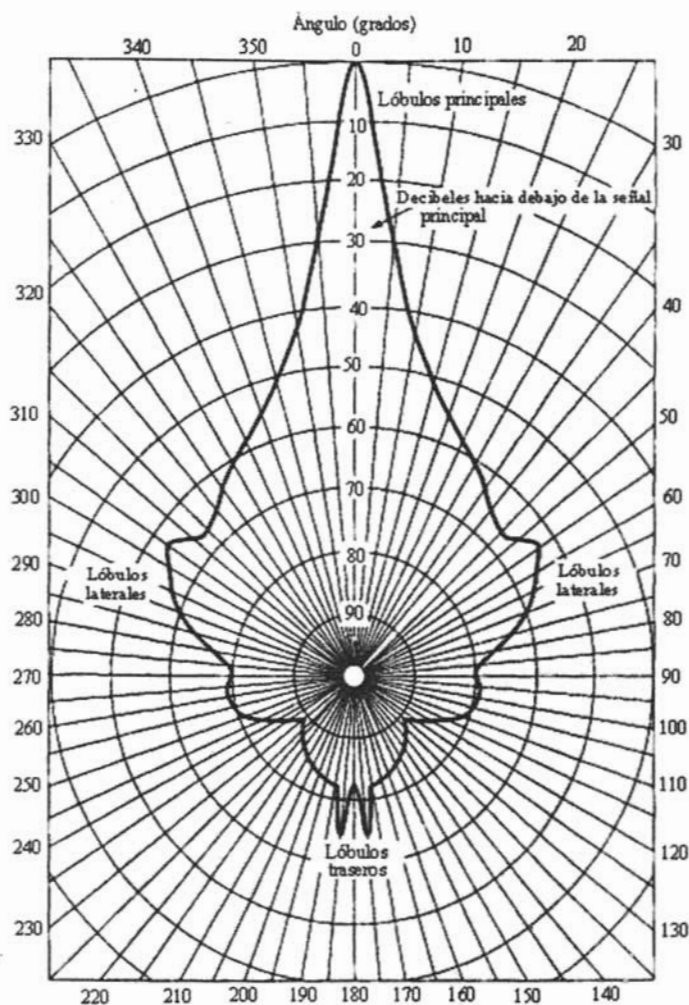


Figura 2.15. Haz principal y lóbulos laterales para una antena de microondas típica.

El reflector es un dispositivo pasivo que sólo refleja la energía irradiada por el mecanismo de alimentación en una emisión concentrada altamente direccional donde las ondas individuales están todas en fase entre sí (un frente de ondas en fase).



**Reflectores parabólicos.** El reflector parabólico es probablemente el componente más básico para una antena parabólica. Los reflectores parabólicos se asemejan a la forma de un plato; por tanto, a veces se les llama antenas parabólicas de plato o solo antenas de plato.

Una antena parabólica consiste de un reflector parabólico iluminado con energía de microondas irradiada por un sistema de alimentación localizado en el punto focal. Si se irradia energía electromagnética hacia el reflector parabólico desde el foco, todas las ondas irradiadas viajarán la misma distancia para cuando lleguen a la directriz, sin importar desde que punto de la parábola se hayan reflejado. Por tanto, todas las ondas irradiadas hacia la parábola desde el foco estarán en fase cuando llegue a la directriz.

En consecuencia, la radiación se concentra a lo largo del eje XY, y ocurre la cancelación en todas las direcciones. Un reflector parabólico utilizado para recibir energía electromagnética exhibe exactamente el mismo comportamiento. Por tanto, una antena parabólica exhibe el principio de reciprocidad y funciona igual de bien que una antena receptora para las ondas que llegan de la dirección XY (normal a la directriz). Los haces recibidos de todas las otras direcciones se cancelan en este punto.

No es necesario que el plato tenga una superficie metálica sólida para reflejar eficazmente o recibir las señales. La superficie puede ser una malla y todavía reflejar o recibir casi tanta energía como una superficie sólida, siempre y cuando el ancho de las aberturas sea menor a 0.1 de longitud de onda. Utilizar una malla en lugar de un conductor sólido reduce considerablemente el peso del reflector. Los reflectores de malla también son más fáciles de ajustar y los afecta menos el aire, y en general proporcionan una estructura mucho más estable.

**Ancho del haz de la antena parabólica.** La radiación tridimensional de un reflector parabólico tiene un lóbulo principal que se asemeja a la forma de un cigarro grueso en dirección XY. El ancho de haz aproximado de -3 dB para una antena parabólica en grados.



**Eficiencia de la antena parabólica ( $\eta$ ).** En un reflector parabólico, el reflejo de la superficie del plato no es perfecto. Por tanto, una pequeña porción de la señal irradiada desde el mecanismo de alimentación se absorbe en la superficie del plato. Además, la

energía cerca de la orilla del plato no se refleja si no más bien se deflejará del otro lado de la orilla del plato. Esto se llama derrame o fuga. Debido a imperfecciones dimensionales, sólo del 50% a 75% aproximadamente de la energía emitida desde el mecanismo de alimentaciones es lo que refleja realmente la parabólica. Además, en una antena real el mecanismo de alimentación no es una fuente puntual; ocupa un área finita enfrente del reflector y en realidad tapa una pequeña área en el centro del plato y causa un área sombreada en frente de la antena que es incapaz de recoger o enfocar la energía. Estas imperfecciones contribuyen a una eficiencia típica para una antena parabólica de sólo aproximadamente 55% ( $\eta = 0.55$ ). O sea, sólo 55% de la energía irradiada por el mecanismo de alimentación en realidad se propaga hacia adelante en un haz concentrado.

**Ganancia de potencia de la antena parabólica.** Para una antena parabólica transmisora, la ganancia de potencia es aproximadamente de:

$$A_p = \eta \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (26)$$

donde:  $A_p$  = ganancia de potencia con relación a una antena isotrópica

$D$  = diámetro de boca del reflector parabólico (metros)

$\eta$  = eficiencia de la antena (potencia radiada por la antena relativa a la potencia irradiada por el mecanismo de alimentación)

$\lambda$  = longitud de onda (metros/ciclo)

De las ecuaciones anteriores, puede verse que la ganancia de potencia de una antena parabólica es proporcionalmente inversa a la longitud de onda al cuadrado. En consecuencia, el área (tamaño) del plato es un factor importante al diseñar las antenas parabólicas. Con frecuencia, el área del reflector en sí se da en longitudes de onda al



cuadrado (a veces llamada el área eléctrica o efectiva del reflector). Entre más grande sea el área, más grande es la relación del área a una longitud de onda, y más alta es la ganancia de potencia.

Para una antena parabólica receptora, la superficie del reflector nuevamente no está completamente iluminada, reduciendo efectivamente el área de la antena. En una antena parabólica receptora, el área efectiva se llama el área de captura y siempre es menor que la verdadera área de la boca. El área de captura se puede calcular comparando la potencia recibida con la densidad de potencia de la señal que se está recibiendo.

**Mecanismos de alimentación.** El mecanismo de alimentación de una antena parabólica realmente irradia la energía electromagnética y, por tanto se le suele llamar la antena principal. El mecanismo de alimentación es de mayor importancia porque su función es irradiar la energía hacia el reflector. Un mecanismo de alimentación ideal debe dirigir toda la energía hacia el reflector parabólico y no tener efecto de sombra. En la práctica, esto es imposible de realizar, aunque si se tiene cuidado al diseñar el mecanismo de alimentación, la mayor parte de la energía se puede radiar en la dirección correcta, y se puede minimizar el efecto de sombra. Hay tres tipos principales de mecanismos de alimentación para antenas parabólicas: alimentación central, alimentación de corneta y alimentación Cassegrain.

**Alimentación central.** La figura 2.16 muestra un diagrama para un reflector parabólico alimentado centralmente con un reflector esférico adicional. La antena principal se coloca en el foco.

La energía radiada hacia el reflector se refleja hacia afuera en un haz concentrado. Sin embargo, la energía no reflejada por la parabólica se extiende en todas direcciones y tiene la tendencia de romper el patrón de radiación general. El reflector esférico vuelve a dirigir tales emisiones nuevamente hacia el reflector parabólico, donde se vuelven a reflejar en la dirección correcta. Aunque el reflector esférico adicional ayuda a concentrar más la

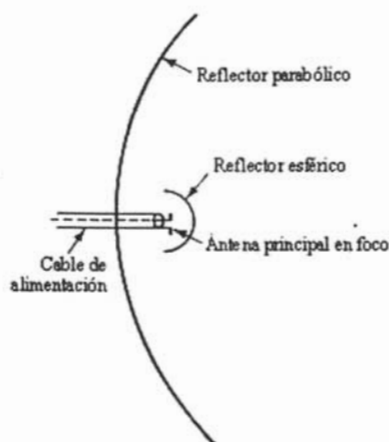


Figura 2.16. Antena parabólica con alimentación central.

energía en la dirección deseada, también tiene la tendencia de bloquear algunas de las reflexiones iniciales. En consecuencia, el bien que realiza se compensa con su propio efecto de sombra, y su funcionamiento en general es solamente de manera marginal mejor que sin el reflector esférico adicional.

**Alimentación de corneta.** La figura 2.17 la muestra un diagrama para un reflector parabólico utilizando alimentación de corneta. Con un mecanismo de alimentación de corneta, la antena principal es una pequeña antena de corneta en lugar de un simple dipolo o tabla de dipolo. La corneta es sólo una porción de material de guía de onda que se coloca en el foco y radia un patrón algo direccional hacia el reflector parabólico. Cuando un campo electromagnético que se está propagando alcanza la boca de la corneta, continúa propagándose en la misma dirección general, excepto que, de acuerdo con el principio de Huygens, se extiende lateralmente, y el frente de onda eventualmente se vuelve esférico. La estructura de la corneta puede tener varias formas distintas, como se muestra en la figura 2.17b sección (dirigido solamente en una dirección), piramidal o cónico. Así como con la alimentación central, una alimentación de corneta presenta algo de obstrucción a las ondas reflejadas del plato parabólico.

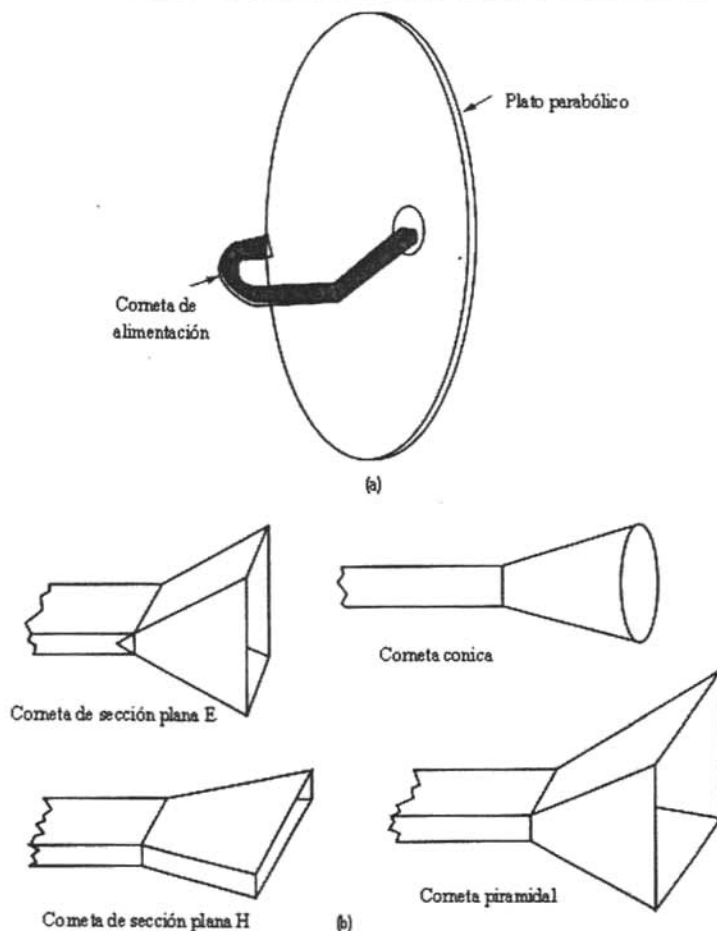


Figura 2.17. Antena parabólica con alimentación de corneta:  
(a) alimentación de corneta; (b) tipos de guía de onda de cornetas.

**Alimentación Cassegrain.** La alimentación Cassegrain lleva el nombre de un astrónomo del siglo XVIII y evolucionó directamente de los telescopios ópticos astronómicos, La figura 2.18 muestra la geometría básica de un mecanismo de alimentación Cassegrain. La principal fuente de radiación se localiza en o justo detrás de una pequeña abertura en el vértice de la parábola, en lugar del foco. La antena principal se apunta a un pequeño reflector secundario (subreflector Cassegrain) localizado entre el vértice y el foco.



Los haces emitidos de la antena principal son reflejados desde el subreflector Cassegrain y luego iluminan el reflector parabólico principal exactamente como si se hubieran originado en el foco. Los haces son manejados por el reflector parabólico de la misma forma que los mecanismos de alimentación central y alimentación de corneta. El subreflector debe tener una curvatura hiperboloide para reflejar los haces desde la antena principal de tal forma como para funcionar como una fuente virtual en el foco parabólico. La alimentación Cassegrain se utiliza por lo regular para recibir señales extremadamente débiles o cuando se requieren líneas de transmisión extremadamente larga o corridas de guías de ondas y es necesario colocar preamplificadores de bajo ruido tan cerca de la antena como sea posible. Con la alimentación Cassegrain, los preamplificadores se pueden colocar justo antes del mecanismo de alimentación y no ser una obstrucción para las ondas reflejadas.

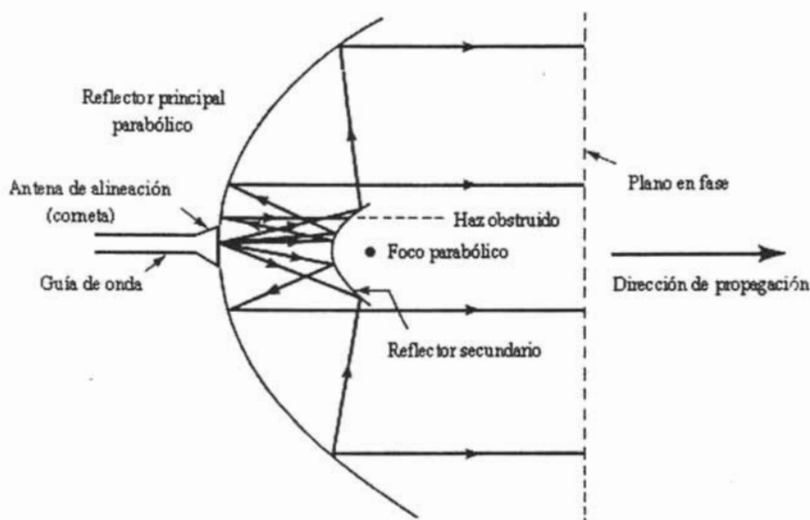


Figura 2.18. Antena parabólica con una alimentación Cassegrain.



# CAPÍTULO III

## COMPONENTES DE LA RED SATELITAL.





### 3.1.1 COMPONENTES SATELITALES

Los primeros satélites puestos en órbita como el Sputnik ruso en 1957 y el americano Explorer 1 en 1958, no eran satélites de comunicaciones sino que tenían fines puramente bélicos. El primer satélite de comunicaciones fue el Early Bird lanzado desde Cabo Kennedy en 1965. Todos estos eran pasivos, es decir que sólo reflejaban la señal recibida y no realizaban ningún tipo de conversión ni amplificación. Con la miniaturización electrónica y la mejora en la potencia de los sistemas de lanzamiento los satélites, poco a poco se fueron asemejando a los actuales. En la figura 3.1 se muestra un satélite de comunicaciones. La capacidad de un satélite actual para recibir y transmitir se consigue gracias a un dispositivo llamado “transponder” (transpondedor). Los transponders, trabajan en frecuencias del orden de los Ghz. Típicamente un satélite posee unos 12 a 20 transponders. Para evitar interferencias se utiliza una frecuencia  $f_1$  para transmitir desde la tierra hacia el satélite (Uplink) y otra frecuencia  $f_2$  para hacerlo desde el satélite hacia la tierra (Downlink).

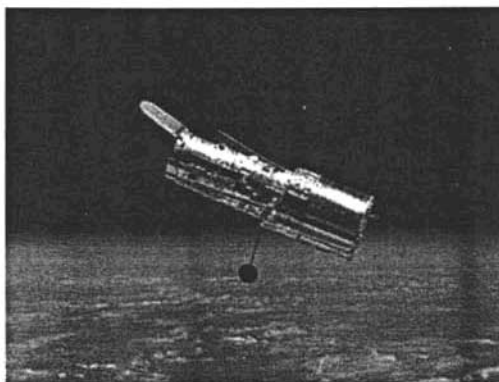


Figura 3.1 Satélite tipo hilador (spinners).

Los componentes básicos del satélite son:

- Transponder
- Antenas
- Sistema de alimentación de panel solar
- Sistema de Ganancia
- Cohetes de propulsión



- Equipo de RF
- Componentes de switcheo y redundancia

Como se mencionó anteriormente el transponder es un elemento del satélite de gran importancia por lo cual es conveniente ahondar más en él. Un transponder es el equipo del satélite que recibe las señales de subida (Uplink), la transforma en una frecuencia de bajada (Downlink), y amplifica para la retransmisión a la tierra, los transponders por satélite en banda Ku son de 36-72 Mhz cada uno. En la figura 3.2 se muestra un diagrama a bloques de un transponder y el proceso que en él se lleva.

Los componentes del transponder son:

- El pre-amplificador de bajo ruido
- El Conversor de frecuencia
- El mezclador
- Multiplexor interno (IMUX)
- Tubo Amplificador de alto poder de onda progresiva (TWTA)
- El oscilador de salida
- Switch de salida
- El multiplexor de salida (OMUX)

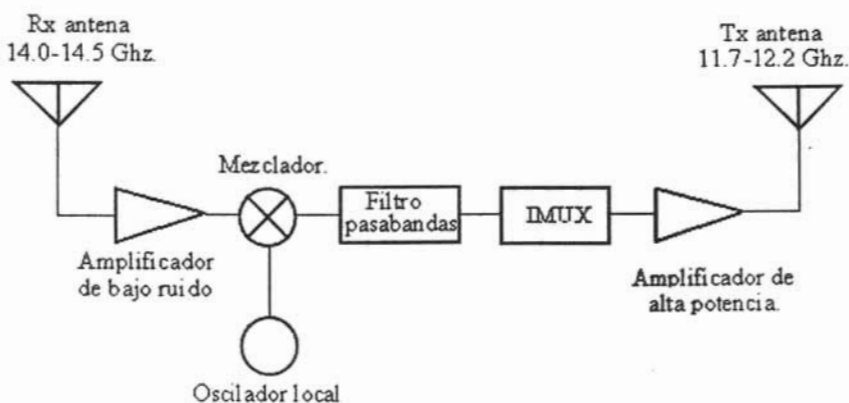


Figura 3.2 Diagrama a bloques del transponder.



### 3.1.2 MODELOS DE ENLACE DEL SISTEMA SATELITAL

Esencialmente, un sistema satelital consiste de tres secciones básicas: una subida, un transponder satelital y una bajada.

#### MODELO DE SUBIDA

El principal componente dentro de la sección de subida, de un sistema satelital, es el transmisor de la estación terrena. Un típico transmisor de la estación terrena consiste de un modulador de IF, un convertidor de microondas de IF a RF, un amplificador de alta potencia (HPA) y algún medio para limitar la banda del último espectro de salida (por ejemplo, un filtro pasa-bandas de salida). La figura 3.3 muestra el diagrama a bloques de un transmisor de estación terrena satelital. El modulador de IF convierte las señales de banda base de entrada a una frecuencia intermedia modulada en FM, en PSK o en QAM. El convertidor (mezclador y filtro pasa-bandas) convierte la IF a una frecuencia de portadora de RF apropiada. El HPA proporciona una sensibilidad de entrada adecuada y potencia de salida para propagar la señal al transponder del satélite.

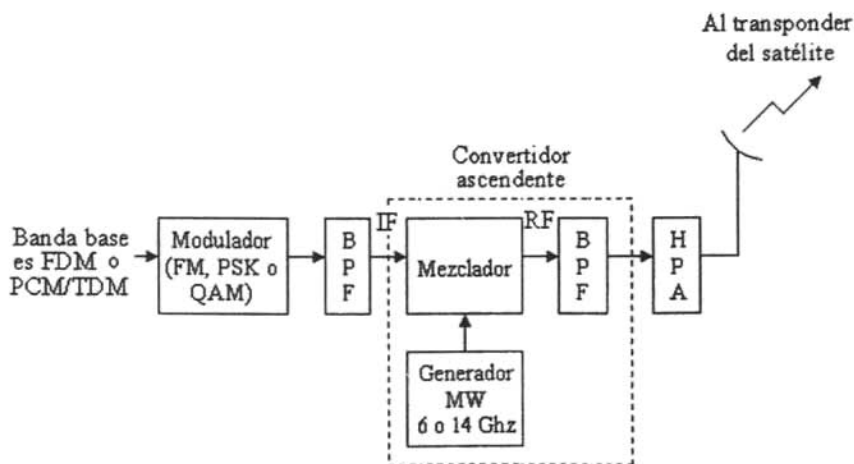
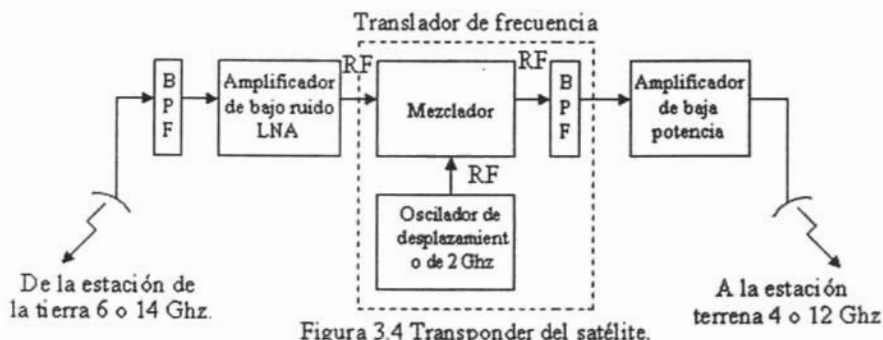


Figura 3.3 Modelo de subida del satélite.



## TRANSPONDER

Un típico transponder satelital consta de un dispositivo para limitar la banda de entrada (BPF), un amplificador de bajo ruido de entrada (LNA), un translador de frecuencia, un amplificador de potencia de bajo nivel y un filtro pasa-bandas de salida. La figura 3.4 muestra un diagrama a bloques simplificado de un transponder satelital. Este transponder es un repetidor RF a RF; otras configuraciones de transponder son los repetidores de IF, y de banda base, semejantes a los que se usan en los repetidores de microondas. Cada canal de RF del satélite requiere de un transponder separado.



## MODELO DE BAJADA

Un receptor de estación terrena incluye un BPF de entrada, un LNA y un convertidor de RF a IF. La figura 3.5 muestra un diagrama a bloques de un receptor de estación terrena típico. Nuevamente, el BPF limita la potencia del ruido de entrada al LNA. El LNA es un dispositivo altamente sensible, con poco ruido, tal como un amplificador de diodo túnel o un amplificador paramétrico. El convertidor de RF a IF es una combinación de filtro mezclador/pasa-bandas que convierte la señal de RF recibida a una frecuencia de IF.

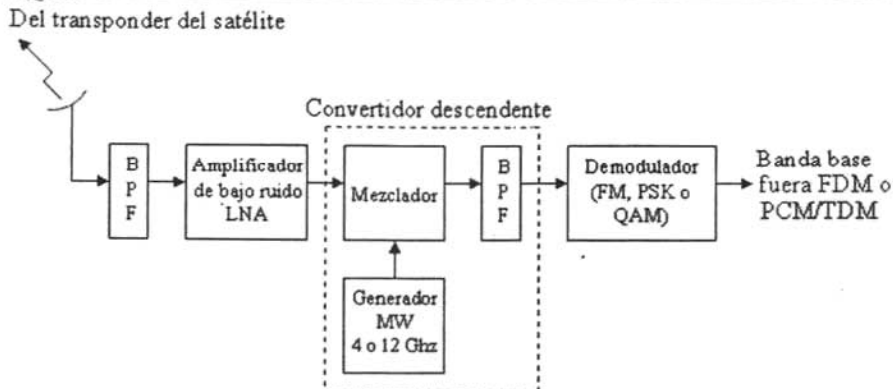


Figura 3.5. Modelo de bajada del satélite.

### 3.1.3 DISEÑO DE ENLACES VÍA SATÉLITE

El diseño de enlaces vía satélite se basa en el cálculo de enlace y los criterios de diseño aplicables.

• *Métodos de Cálculo de Enlace:*

- $C/N$  (Relación de Portadora a Ruido)
- $C/N_0$  (Relación de Portadora a Densidad Espectral de Ruido)
- $C/T$  (Relación de Portadora a Temperatura de ruido)
- $E_b/N_0$  (Relación de Energía de Bit a Densidad Espectral de Ruido)

• *Criterios de diseño:*

- Balance de Ancho de Banda vs. Potencia
- Margen del enlace
- Porcentaje de potencia
- Capacidad de Infraestructura terrestre

El método de cálculo mayor utilizado es el de  $C/N$ , combinado con los diferentes criterios de diseño. Con el cálculo de enlace se evalúa la calidad del canal de comunicación, cualquiera que sea el método utilizado, los resultados son prácticamente los mismos. El esquema clásico de un enlace vía satélite se muestra en la figura 3.6 y llamaremos “enlace ascendente” a la comunicación entre E/T Tx - Satélite Rx y “enlace descendente” a la comunicación entre Satélite Tx - E/T Rx. La evaluación del enlace le llamaremos a la determinación de la calidad del enlace en su totalidad.

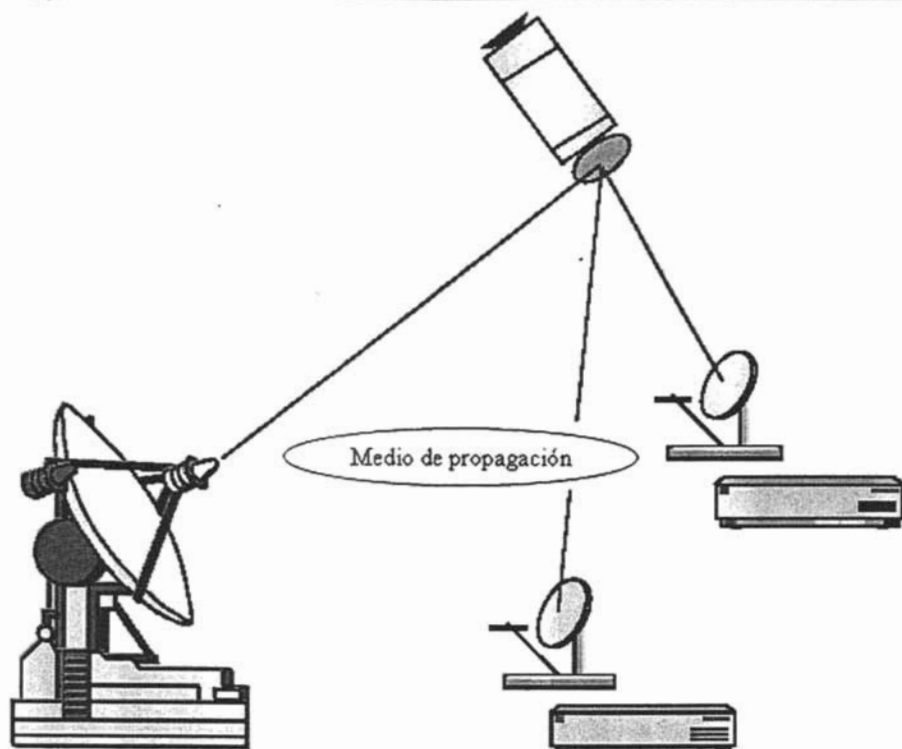


Figura 3.6 Esquema clásico de un enlace vía satélite

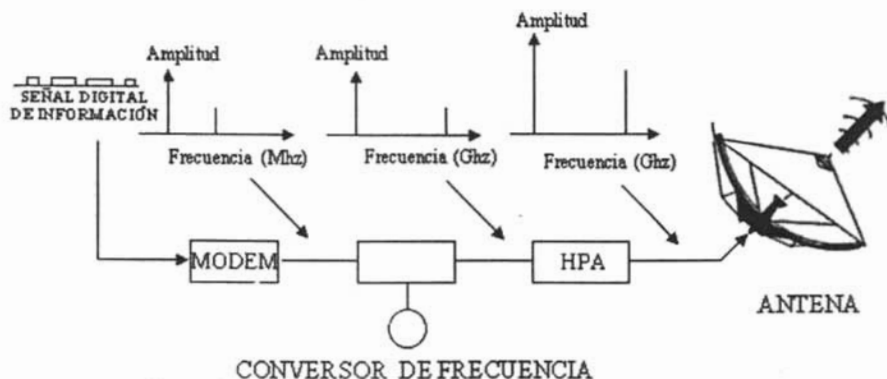


Figura 3.7. Elementos de la estación terrestre transmisora.

Dentro del diseño los elementos a considerar de una estación terrea son: del módem, la velocidad de información, tipo de modulación, valor del FEC y en su caso Turbo Códec,



del HPA el valor de la potencia nominal en watts y Back-off recomendado. En la antena transmisora tomaremos su diámetro y su ganancia en transmisión. Con la ganancia de la antena y la potencia del HPA, obtenemos la PIRE de la E/T, estos elementos se muestran en la figura 3.7.

En el satélite se cambia la frecuencia a la señal, la amplifica y se le invierte la polarización, los parámetros del satélite son la densidad de flujo de saturación (DFS), figura de mérito ( $G/T$ ), PIRE de saturación (PIRE sat.), valor de atenuación (ATP), Back-off de entrada (IBO) y Back-off de salida (OBO). La DFS,  $G/T$  y PIRE están en función de las localidades a enlazar. En la figura 3.8 se observan los elementos del satélite.

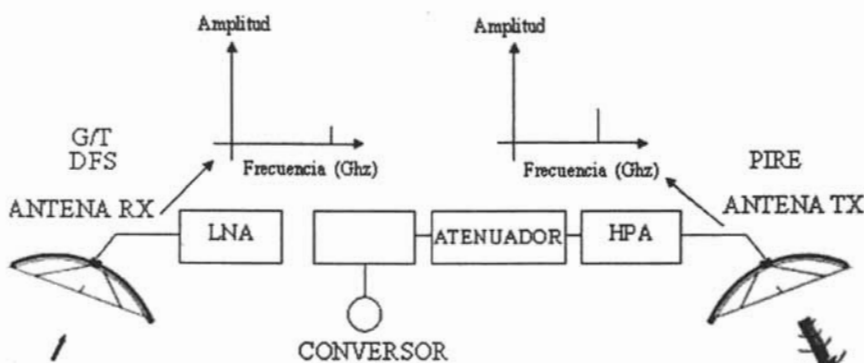


Figura 3.8. Elementos del satélite.

Y los elementos de la estación terrena receptora son: el diámetro de la antena receptora, ganancia en recepción y temperatura de ruido, así como la temperatura de ruido del LNA. La figura de mérito o  $G/T$  de la E/T se forma con las características de la antena, LNA y del modem su valor de  $E_b/N_0$  de umbral. En la figura 3.9 se muestran los elementos de a considerar de la estación terrena.

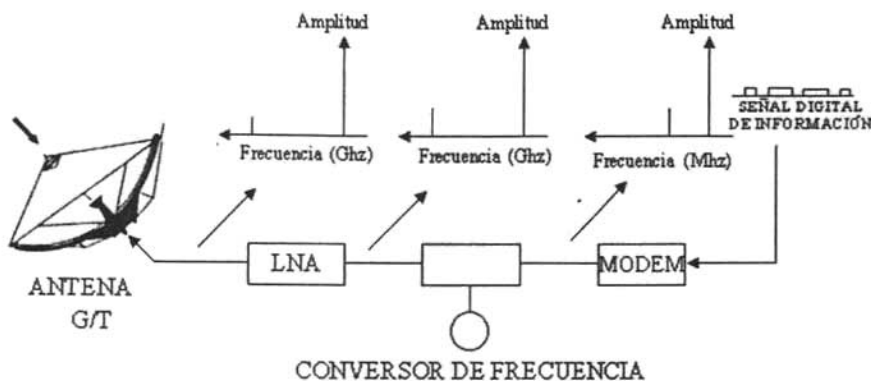


Figura 3.9 Elementos de una estación receptora

También para el diseño es importante el medio de propagación, ya que al ser el espacio libre, involucra una serie de atenuaciones en la potencia de la señal como son las siguientes:

- Pérdidas del espacio libre (la distancia entre el satélite y los puntos a comunicar).
- Atenuación atmosférica (la presencia de la atmósfera en parte del trayecto de la señal).
- Atenuación por lluvia (la presencia de lluvia para señales mayores a 10 Ghz).

Además el ambiente de interferencias como la presencia de otras señales (no deseadas) dentro del mismo medio de propagación. Principalmente se consideran los siguientes rubros:

- Interferencia por satélite adyacente.
- Interferencia por polarización cruzada.
- Intermodulación.

El efecto de los diferentes elementos que se consideran dentro del medio de propagación no son controlables por el diseñador del enlace por lo cual se debe de poner énfasis al diseño.





### Criterios de diseño.

Los elementos ó criterios para el diseño del enlace son los siguientes:

- *Balance Ancho de Banda vs Potencia*: se basa en igual consumo en porcentaje de ancho de banda al porcentaje de potencia ocupado en el satélite por el enlace.
- *Margen del enlace*: se define un valor específico en dB para el margen del enlace.
- *Porcentaje de potencia*: se define un valor específico del porcentaje de la potencia a consumir en el satélite por el enlace.
- *Capacidad de infraestructura terrestre*: se basa en proporcionarle al enlace la potencia disponible en la estación terrena transmisora.

Independientemente del criterio seleccionado siempre se debe de cumplir que el margen del enlace dentro del cálculo sea superior a 0 dB. La selección del criterio depende del diseñador del enlace y esta en función del escenario que él considere más conveniente o de la infraestructura que se tiene. Para un método C/N (Relación de Portadora a Ruido), la secuencia para el diseño de un enlace vía satélite es la siguiente:

1. Cálculos preliminares:
  - a. Apuntamiento.
  - b. Distancia.
  - c. Ancho de banda.
2. Cálculo del enlace ascendente:
  - a. C/N total ascenso.
3. Cálculo del enlace descendente:
  - a. C/N total descenso.
4. Evaluación del enlace asociado a los criterios de diseño:
  - a. Margen del enlace.

### 3.2 SEGMENTO TERRESTRE

Dentro del segmento terrestre encontraremos el conjunto de circuitos y equipos que complementan a la red satelital; estos a su vez contienen una configuración distinta según las necesidades del cliente y generalmente se le conoce como equipo de banda base (HUB).



La siguiente información e imágenes forman parte de una red satelital VSAT y son proporcionadas por CONTEL Iztapalapa, esta nos servirán para comprender mejor este capítulo. En la figura 3.10 se muestra un diagrama de bloques del equipo de banda base.

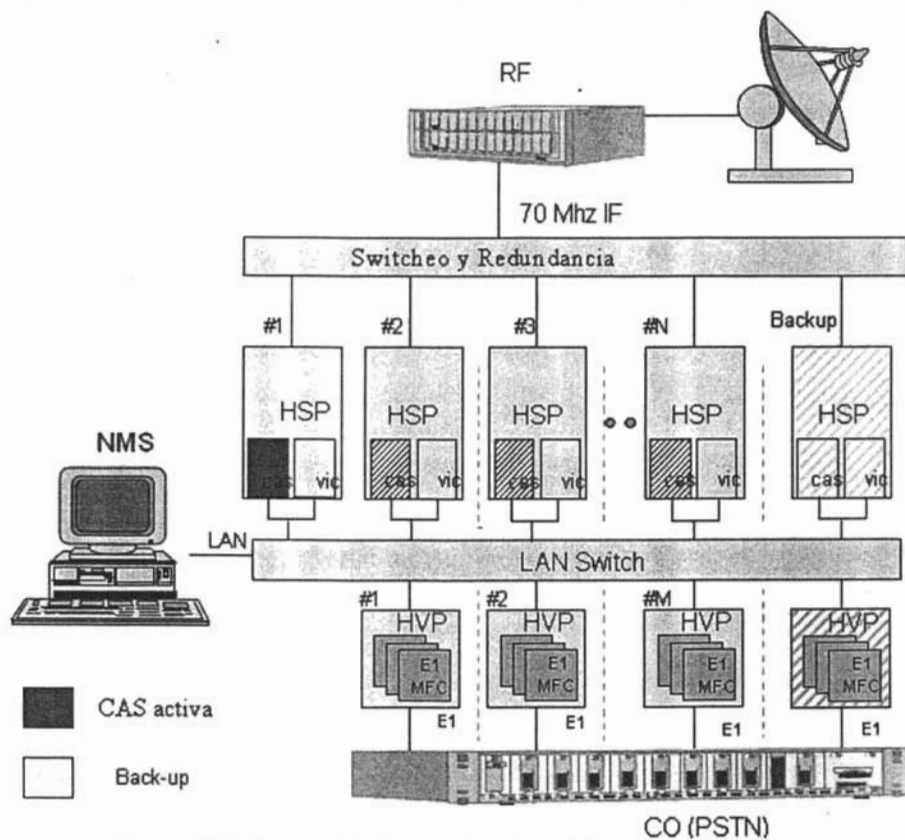


Figura 3.10 Diagrama de bloques de equipo de banda base (HUB)

El HUB se compone de los siguientes elementos:

- Sistema de procesamiento satelital (HSP).
- HVP's (Puerta de enlace a la red pública).
- Sistema de administración de la red (NMS).
- Equipo de RF



### 3.2.1 SISTEMA DE PROCESADORES SATELITALES (HSP)

En el HSP se encuentran concentrados los diferentes componentes necesarios para procesar la información saliente como entrante, así como la señalización interna. Las principales funciones del HSP son:

1. La generación del Outbound (Uplink, tráfico saliente) y recibir las Inbound (Downlink, tráfico entrante).
  - *Generación del tráfico saliente:* Las señales de voz generadas en la central telefónica pública (PSTN), son procesadas por el sistema de voz (HVP) y luego enviadas a los HSP para ser multiplexadas. Posteriormente el modulador recibe el paquete de datos del CPU y lo convierte a señales de IF en un rango de 52 a 88 Mhz o de 104 a 176 Mhz, enviándolas al sistema de RF para su transmisión al satélite.
  - *Recepción del Tráfico Entrante:* Este es recibido por el sistema de RF y enviado a los divisores de potencia que lo amplifica, para luego enviarlo a la jaula de receptores para la demodulación y extracción de la señal. Una vez demodulado el paquete de datos es enviado al CPU de los HSP, donde es procesado de acuerdo al protocolo satelital y enviado a los HVP designados para su futuro procesamiento.
2. Soporta comunicación de las VSAT con las estación vía satélite.
3. Envía y recibe señales de IF para y desde RF.

El sistema de procesamiento satelital (HSP)<sup>1</sup> se compone de los siguientes elementos:

- *Moduladores (Transmisor satelital)*
- *Receiver cage (demodulador)*
- *Power Splitter*
- *CPU cage*
- *Switch LAN*

<sup>1</sup> Imágenes proporcionadas por CONTEL Iztapalapa.



**Modulador:** Este recibe un tren de datos codificado para luego convertirlo a una señal modulada QPSK con un rango de frecuencia intermedia de  $70 \pm 18$  Mhz, para ser enviada a los convertidores de subida del sistema de RF. En la figura 3.11 se muestra un diagrama de bloques de la función del modulador.

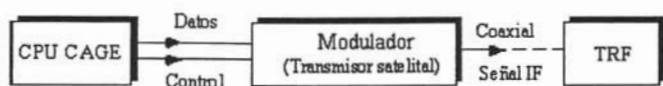


Figura 3.11 Diagrama de bloques del modulador

**Receiver Cage (demodulador):** Este es un chasis de estructura bus VME compuesto de un CPU Motorola y con capacidad de hasta 18 receptores figura 3.12.

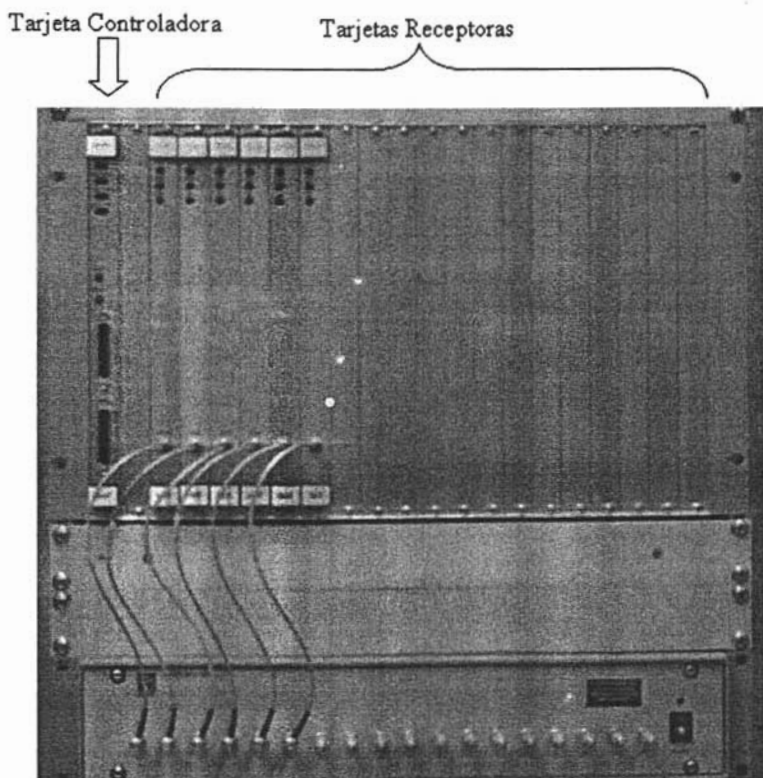


Figura 3.12. Caja de tarjetas demoduladoras.



Las principales funciones del Receiver Cage son:

- El rastreo y la identificación de las señales enviadas por los terminales remotos.
- La primera tarjeta controla todas, las primeras cinco escanean posibles portadoras y las demás demodulan las señales.
- Asigna las señales a cada uno de los receptores (procesadas por el CPU Cage).
- Demodula la señal procesada por los receptores.
- Finalmente envía la señal demodulada a el CPU Cage del HSP vía serial a través de la norma RS422 para la continuación de su procesamiento.

En la figura 3.13\* se observa un diagrama de bloques de un tipo especial de Receiver Cage y a su vez se presenta el lugar que ocupa dentro del HSP.

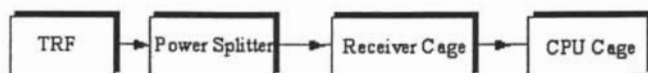


Figura 3.13 Diagrama de bloques del Receiver Cage.

**Power splitter:** Recibe todo el ancho de banda en IF que provienen del downconverter de la cadena de radio frecuencia dándole una ganancia de 7 dB's para posteriormente reproducirla en 15 señales iguales enviándolas a cada una de las tarjetas receptoras del Receiver Cage. En la figura 3.14 se muestra un diagrama de bloques del Power splitter y la función que realiza.

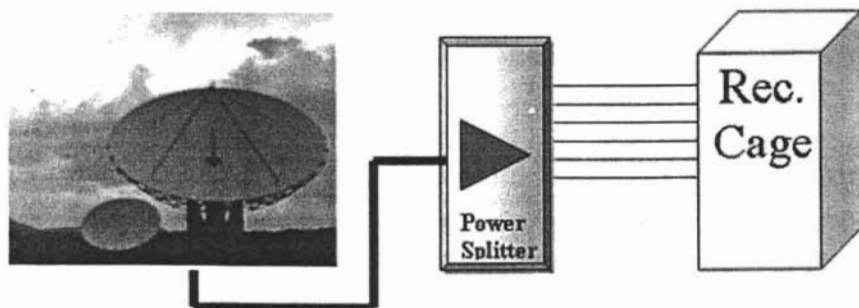


Figura 3.14 Diagrama a bloques del Power Splitter



**CPU Cage:** El CPU Cage<sup>2</sup> es un chasis para tarjetas de bus VME y contiene las tarjetas de comunicación; una tarjeta transmisora digital, una CAS y una VIC. Incluye un disco duro y una unidad de cinta. El CPU Cage recibe todos los mensajes del Inbound provenientes del Receiver Cage, procesa los mensajes y los envía al HVP designado. Además de controlar los otros componentes del HSP, como los son el Receiver Cage y el Modulador.

Las principales funciones del CPU Cage son:

1. Durante el periodo de inicialización el CPU Cage hace lo siguiente:
  - Carga software y parámetros al CPU Cage.
  - Determina la salida y frecuencia del modulador.
2. Durante la operación normal el CPU Cage:
  - Comunica al Receiver Cage, monitoreo de telemetría y análisis de estadísticas.
  - Comunica al modulador con telemetrías y estadísticas.
  - Maneja todos los comandos enviados al HSP.

En la figura 3.16 se muestran diagramas de bloques del CPU Cage y la importancia de esta ya que juega un papel importante en todo el proceso.

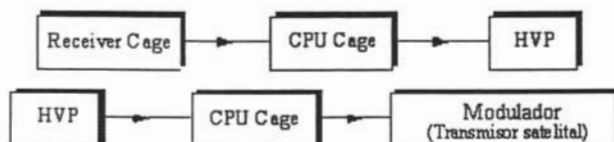


Figura 3.16. Diagrama de bloques del CPU Cage

### COMPONENTES DE LA CPU CAGE<sup>3</sup>

Como ya se menciona dentro del CPU Cage se encuentran diferentes tarjetas como la UNIX, Target, NMS, LAN UDP, RX, TX, CAS, y la VIC estas en su conjunto forman un chasis de bus VME. Estas tarjetas serán las responsables de la comunicación de la red con las VSAT y la interfaz con la PSTN vía HVP's. Los diferentes componentes se

<sup>2</sup> Imágenes proporcionadas por CONTEL Iztapalapa.

<sup>3</sup> Imágenes proporcionadas por CONTEL Iztapalapa.



muestran en la figura 3.17. A continuación se dará una explicación de cada una de ellas y sus funciones.

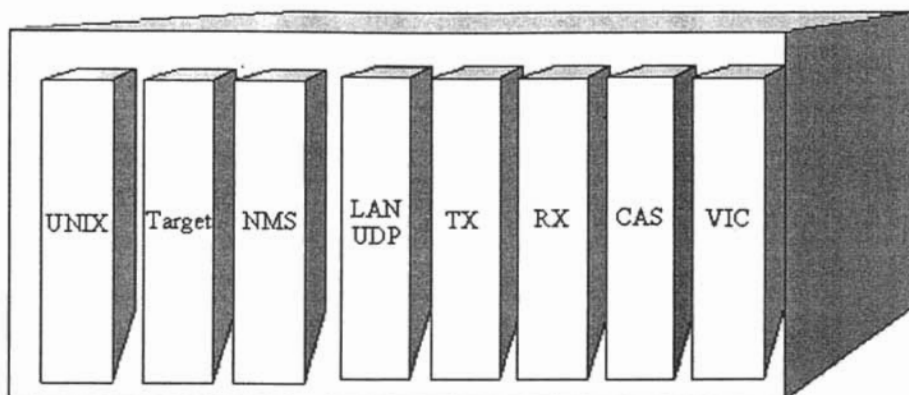


Figura 3.17. Componentes del CPU Cage.

### CPU Cage – Tarjeta UNIX<sup>4</sup>

- Esta tarjeta corre el sistema operativo UNIX.
- Se usa para cargar la configuración.
- Se encarga de reiniciar, las veces necesarias.
- Controla el disco duro y la cinta magnética.
- Enciende y/o apaga al HSP.
- Carga el software de todas las demás tarjetas del CPU Cage.
- Pone la fecha y la hora del HSP.

### CPU Cage – Tarjeta Target

- Implementa el protocolo satelital LAPU.
- Suministra telemetría y estadísticas.
- Los operadores pueden enviar comandos al HSP vía Target.
- Carga el software del Receiver Cage.

<sup>4</sup> Imágenes e información proporcionadas por CONTEL Iztapalapa.



- Inicializa la frecuencia de los Outbound, la tasa de bit y la modulación.
- Responsable de la corrección automática de la frecuencia.
- Esta es una tarjeta controladora ya que monitorea a las demás tarjetas del CPU Cage exceptuando a las tarjetas UNIX y CAS.

### **CPU Cage – Tarjeta NMS**

- Es la interfaz con la NMS.
- La NMS configure y monitorea el HSP vía esta tarjeta.
- La NMS recibe eventos y telemetrías de reportes vía esta tarjeta.

### **CPU Cage – Tarjeta UDP LAN**

- Suministra un interfaz entre el HSP y la red.
- Enruta los datos hacia los HPP.

### **CPU Cage – Tarjeta Tx**

- Recibe los datos del Outbound y la envía a la tarjeta Target vía interfaz VME para enviarlos posteriormente al modulador.
- Transmite rápidamente datos al modulador e inserta trama de datos en las ranuras de tiempo.
- La tarjeta digital Tx suministra un reloj para transmisiones superiores a 8 Mbps.

### **CPU Cage – Tarjeta Rx**

- Recibe los datos demodulados de cada tarjeta del Receiver Cage.
- Envía los datos ya en formato digital vía bus VME hacia la tarjeta Target.





## CPU Cage - Voice Interface Card (VIC)<sup>5</sup>

- Mantiene la llamada e informa a la CAS.
- Envía datos (voz digital y comprimida) hasta el HVP/VSAT y la llamada sale por el Outbound de VSAT/HVP.
- Procesa la señal de voz desde el HSP y controla el flujo de datos de la llamada hasta el Receiver Cage/Modulador y el HVP.
- Monitorea las llamadas activas.

## CPU Cage - Call Allocation Server (CAS)

- Administra las llamadas (asigna los recursos).
- Administra los recursos de frecuencias satelitales.
- Administra el plan de numeración y enrutamiento de las llamadas.
- Administra el CDR y el directorio telefónico.
- Maneja la señalización con el SIU en ambiente SS7.

### 3.2.2 HVP's (PUERTA DE ENLACE A LA RED PÚBLICA).

Para la interconexión del sistema con otras redes tanto públicas como privadas, se encuentran los HVP's estos son unidades de procesamiento de voz. Dichos circuitos son los encargados de ser el interfase vía E1's (circuitos digitales a 2.048 Mbps). A continuación se describen las características como sus funciones.

#### HUB VOICE PROCESOR (HVP)<sup>6</sup>

Las funciones del Sistema de Procesamiento de Voz (HVP) son:

1. Ser la interfase entre el HUB del sistema DialAway y la red telefónica pública conmutada (PSTN) o a la central telefónica privada (PBX).
2. Proveer de un acceso telefónico externo bi-direccional a las terminales remotas.

<sup>5</sup> Imágenes e información proporcionadas por CONTEL Iztapalapa.

<sup>6</sup> Información proporcionada por CONTEL Iztapalapa.



Principales características de los HVP's:

1. El HVP Multistar consiste en el diseño básico de una VSAT.
2. El HVP tiene un puerto LAN que se conecta vía Ethernet al Lan Switch.
3. El proceso de carga entre el HVP y NMS es similar al proceso de una VSAT conectada al HUB.
4. Los HVP's tienen los mismos led's de una estación remota VSAT.
  - POWER- Es cuando la VSAT esta encendida.
  - RX -LOCK LED cuando la luz verde se enciende significa que el HVP reconoció la NMS.
  - ON-LINE LED cuando la luz verde se enciende significa que el HVP se ha comunicado con la NMS y la carga de software fue realizada con éxito.
  - TRANSMIT LED- Cuando la luz verde se enciende significa que el HVP esta enviando o recibiendo paquetes de voz de la VIC a través de la LAN o de una troncal E1.
5. Cada unidad de HVP contiene hasta 3 tarjetas de interfase E1.
6. Cada una de las tarjetas de interfase E1 contiene 5 time slots.
7. Un total de 2 HVP's con capacidad de 3 tarjetas pueden manejar una conexión E1. (30 time slots o troncales + 2 señalización o slots de control).
8. Los HVP's están enlazados a través de una conexión serial.
9. El Asignamiento de los time slots o troncales es asignado desde la NMS y cargado al HVP a través de la conexión LAN.

Los HVP's operan de la siguiente forma:

1. Reciben las señales de audio de la línea telefónica, las digitaliza y compresiona, luego las envía a través de la LAN en paquetes a la VIC quien luego las envía a través del Outbound a la VSAT asignada.
2. Recibe paquetes de voz a través de la LAN, desde la tarjeta VIC quien las envía por troncales o time slots de voz a la red pública.
3. Maneja la señalización entre la red publica y el sistema DialAway sobre el protocolo SS7 por el par SIU empleado.



Los componentes del Sistema de Procesadores de Voz (HVP)<sup>7</sup> son:

1. Unidades de Voz (VU).
2. Ethernet HUB

A continuación se describen las funciones de cada uno de los componentes del HVP:

Unidades de voz:

- Compresión y descompresión de la voz.
- Detección de actividad.
- Cancelación de Eco.
- Recepción y transmisión de señalización sobre los interfaces telefónicos.

Ethernet HUB:

- Transferir la voz digitalizada entre la VIC y los VU.
- Monitorear y controlar la información de las VU.
- Cargar el software a los VU durante la inicialización.
- Conexión entre el HVP y el HSP.
- Conexión entre el HVP y la NMS.

Los tipos de interfase de las Unidades de Voz (VU) son:

1. 2 cables – Par trenzado: Cada chasis soporta hasta 7 Unidades de Voz (cada VIC soporta 7 líneas análogas).
2. El: Se necesitan dos HVP chasis para completar un circuito El (cada chasis soporta 15 circuitos digitales)

### 3.2.3 SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE LA RED (NMS)

El Sistema de Administración de la Red (NMS) es una estación de trabajo basada en Windows NT Server, usualmente conectada al HUB vía una LAN Ethernet. También permite al usuario ver, modificar y descargar la configuración individual de cada componente o equipo en la red.

<sup>7</sup> Información proporcionadas por CONTEL Iztapalapa.



La interfase de usuario de la NMS permite la configuración de la red y la administración del sistema. Provee de un registro detallado de llamadas (CDR) para la facturación. La red opera sin ningún problema aun estando la NMS fuera de Línea.

Características:

- Plataforma Pentium III bajo el sistema operativo Windows NT 4.0.
- Base de datos en Sybase.
- Arquitectura de cliente y servidor.
- La NMS Server Ver. 5.41.

Funciones Principales de la NMS.

1. Capacidad para configurar y monitorear los siguientes parámetros.
  - HSP: Moduladores, receptores, parámetros satelitales y tablas de telefonía.
  - VSAT: Puertos de voz, parámetros satelitales.
2. Administración de Eventos y Alarmas.
  - Alarmas y Eventos: Cualquier cambio en un elemento dentro del estado de la red será mostrado al operador mediante un ícono gráfico con código de colores y texto. Esta información también se guardara en un archivo para una revisión posterior.
  - Chequeos Preventivos (*Poleos*): La NMS mantiene la información del estado de la red, actualizando regularmente una tabla de registro que verifica la información de los HSP, esto lo hace con un intervalo regular de 10 segundos.
3. Telemetría y Estadísticas.
  - La NMS provee de la telemetría indicando los parámetros de operación y estado de los HSP y VSAT's, habilitando la identificación de errores de configuración de la red, cuando el estado de un componente de la misma cambia.

### 3.2.4 ARQUITECTURA CLIENTE SERVIDOR

La Arquitectura de cliente y servidor facilita tener múltiples usuarios y una capacidad remota por medio de LAN, WAN y Dial-UP ya que es una arquitectura muy



robusta y estable. Esta se muestra en la figura 3.18; aunque cabe mencionar que no es indispensable ya que la red trabaja sin que la NMS server este encendida.

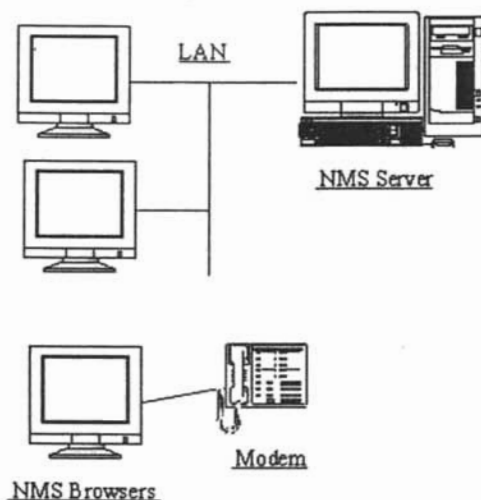


Figura 3.18. Configuración de cliente servidor.

### 3.2.5 PLATAFORMA DE LA NMS

Llamaremos plataforma a las características del hardware y software necesarios para ejecutar el software de la NMS y que a continuación se describen:

Hardware:

- Pentium III 500 Mhz.
- 128 Mb RAM
- ATI 3D RAGE PRO adaptador grafico
- 2 Discos duros de, 10 Gb.
- 2 Interfaces de red
- Modem de 56Kb.
- CD ROM X24
- Zip Drive – 100Mb.



Software:

- Windows NT Server versión 4.0
- Windows NT Service Pack versión 3
- Sybase data base versión 11.5
- NMS server 5.41 Build N.4
- PC-Anywhere versión 8.0
- Zip drive software
- Pkzip software

### SOFTWARE DE LA NMS

La NMS es el software que estará encargada de ser la interfase entre el operador y la red satelital y esta compuesta por dos elementos que son:

**El NMS Server** - Es la aplicación la cual controla la red. Esta corre en un computador base (Host) el cual esta conectado físicamente a los HSP vía la red LAN.

Características y funciones del NMS server:

- Cada nuevo elemento de la red tiene su propia conexión con el NMS Server vía Lan.
- El manejo de la red es hecho directamente desde la estación (N.T. Server).
- Los CDRs son conectados directamente desde la CAS no de los HSPs.
- Capaz de manejar bases de datos operacionales.
- Comunicación con todos los elementos de la red.
- Comunicación entre Browsers (Clientes de la Red) archivos.

**NMS Browser** - Es el interfase grafico de usuario que actúa como cliente. Este puede correr en la misma computadora como el servidor o en una diferente conectada vía LAN, WAN o Dial-Up modem a la computadora que corre la aplicación del Servidor NMS.



Características y funciones del NMS Browser:

- Comunicación con el NmsServer.
- El Nms Server & Nms Browser pueden ejecutarse en la misma computadora o en diferentes computadoras.
- Varios Nms Browsers pueden comunicarse con un único Nms Server.

Las principales funciones del NMS Browser son:

- Configuración y vista de la red.
- Manejo de los elementos de la red.
- Configuraciones de los elementos.
- Tablas y traslaciones de telefonía.
- Template (Plantillas).
- Comandos.
- Telemetría y estadísticas.
- Eventos.
- Soporte de nivel de usuario.

### 3.2.6 EQUIPO DE RF

A continuación se describirán las principales características del equipo de radiofrecuencia que dividiremos en:

- Antena maestra y amplificador de gran potencia (HPA)
- Cadena de transmisión (Tx).
- Cadena de recepción (Rx).

#### ANTENA MAESTRA.

La antena maestra es un reflector parabólico doble tipo Cassegrain de 7.6 mts. con las siguientes características:



Características	
Tipo de antena	Reflector doble Cassegrain
Diámetro	7.6 mts
Aislamiento	30 dB
Relación de onda Estacionaria	< 1.25
Polarización	Lineal ortogonal en banda Ku
Ajuste de polarización	90° grados para polarización lineal
Nivel de lóbulo secundario	25-29 dB
Excursión en azimut	120°
Excursión en elevación	2°-90°
Potencia de salida	En amplificador TWT: 50-100W en banda Ku

#### AMPLIFICADOR DE GRAN POTENCIA (HPA)

Las grandes estaciones terrenas utilizan con frecuencia un gran número de amplificadores de potencia (HPA o High-Power Amplifiers) con niveles de potencia de salida superiores a los 8.5 Kw. La configuración empleada depende del número de portadoras a transmitir y de si se emplean señales FDM o TDM. La configuración más común emplea un HPA para cada uno de los transpondedores instalados. A 6 Ghz, suelen emplearse HPA's de anchos de banda de entre 40 y 80 Mhz bien sean amplificadores de tubo de onda progresiva (TWTA) refrigerados por aire o klystrons refrigerados por agua. Los TWTA tienen anchos de banda mayores que los klystrons llegando hasta los 500 Mhz a 6 Ghz y permitiendo que se les sintonice a la banda de cualquiera de los transpondedores.

La transmisión FDM de varias portadoras a uno o más transpondedores requiere un amplificador de potencia lineal si se quiere evitar la intermodulación. En una estación terrena ni la potencia de entrada ni la eficiencia son problema, y por tanto pueden permitirse considerables back-off a la entrada de los amplificadores para asegurar el funcionamiento lineal y baja intermodulación.





### CADENA DE TRANSMISIÓN (Tx)

La cadena de transmisión consta de los siguientes elementos: un sistema de Upconverter con su respectiva unidad de switcheo y redundancia y un sistema de HPA's (High Power Amplifier) con su correspondiente unidad de switcheo y redundancia, estos son mostrados en la figura 3.19 y se describen a continuación:

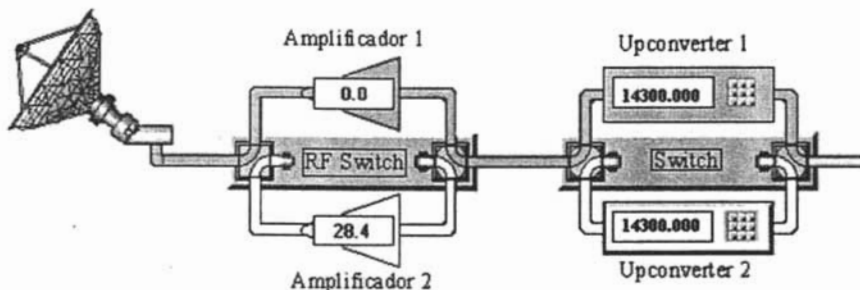


Figura 3.19. Componentes básicos en la cadena de transmisión.

### UPCONVERTER

El Upconverter es el encargado de trasladar la banda de FI (frecuencia intermedia) alrededor de los 70 Mhz.  $\pm$  18 Mhz. a la banda de frecuencia de Ku que se encuentre entre los 14 y 14.5 Ghz, la cual es la frecuencia de salida de RF.

El módulo del upconverter es seguido por un filtro pasabanda que rechaza cualquier señal no deseada. La señal es alimentada desde el mezclador que convierte la señal de salida en frecuencia base con un oscilador local. La señal es filtrada y amplificada antes de la salida del sistema. Además cuenta con dos unidades Upconverter para proporcionar redundancia al sistema el cual uno se encuentra en línea y el otro en standby.

#### Características técnicas del equipo.<sup>8</sup>

A).- Ganancia, Frecuencia de respuesta

1. Frecuencia de la entrada:

70  $\pm$ 20 MHz

140  $\pm$ 40 MHz (Opcional)

<sup>8</sup> Imágenes y datos técnicos cortesía de CONTEL Iztapalapa.



- |                                  |                  |
|----------------------------------|------------------|
| 2. Frecuencia de salida:         | 13.75-14.5 GHz   |
| 3. Ganancia:                     | 26 dB nominal    |
| 4. Amplitud de respuesta:        |                  |
| a. 70 MHz IF:                    | ±20 MHz a 0.5 dB |
|                                  | ±18 MHz a 0.4 dB |
| b. 140 MHz IF (Opción):          | 76 MHz a 0.75 dB |
| 5. Ganancia de ajuste:           | 30 dB            |
| 6. Ganancia de ajuste graduable: | 0.2 dB           |
- B).- Para el grupo de IF de 70MHz (± 18 MHz)
- Standard
    - Lineal: 0.03 ns/MHz
    - Parabólico: 0.01 ns/MHz<sup>2</sup>
    - Longitud de onda: 1 ns de cresta-a-cresta
- C).- Para el grupo de IF de 140MHz (± 36 MHz)
- Standard
    - Lineal: 0.025 ns/MHz
    - Parabólico: 0.0035 ns/MHz<sup>2</sup>
    - Longitud de onda: 1ns de cresta-a-cresta
- D).- Perdida de Retorno
- Entrada
    - 70 MHz IF: 26 dB/75 ohms  
(50 ohms opcional)
    - 140 MHz IF (Opcional): 20 dB/75 ohms  
(50 ohms opcional)
  - Salida: 20 dB/50 ohms
- E).- Intermodulación de tercer orden: Para señales de dos bandas el nivel de salida es de -10 dBm, produciendo una intermodulación, 60 dBc como mínimo.
- F).- Figura de Ruido: 25 dB máximo
- G).- Imagen de Rechazo: 80 dB máximo



H).- Spurious

1. Dependiente: -60 dBc

2. independiente: -75 dBm dentro de banda

I).- Selector de frecuencia graduable: 125 kHz

J).- Alimentación Primaria: Selección en el tablero trasero  
(100, 120, 220, 230/240VAC)

K).- Frecuencia Interna de estabilidad 5 MHz de Referencia

1. Standard: 0° a +50°C

5 x 10<sup>-9</sup>/dia, Temperatura Fija

#### UNIDAD DE SWITCHEO Y REDUNDANCIA.

La unidad de switcheo y redundancia (RSU) se usa con dos convertidores, uno en línea y el segundo en el modo de standby. La RSU monitorea y detecta fallas si hay una sola condición de falla del convertidor en línea, o una mala operación se cambiará al convertidor de reserva y el camino de la transmisión cambiará. El RSU asegura el funcionamiento continuo y permite reparar una falla y/o el dar el mantenimiento rutinario de un convertidor sin perder la señal de transmisión.

La Unidad de Amplificación y Redundancia consiste en dos amplificadores, uno en línea (la unidad A) y el segundo en un modo Standby (la unidad B). Si hay una falla en la unidad A basta un comando de control por parte del operador para pasar a la unidad de reserva B sin ser necesario cambiar físicamente la ruta de transmisión.

La unidad está provista con los suministros de alimentación totalmente redundantes y está disponible con las opciones de interfaz de bus remoto y monitoreo.

Están diseñados para poder reparar las fallas y/o dar el mantenimiento rutinario sin realizar interrupción de la señal transmitida.



### CADENA DE RECEPCIÓN (Rx)

La cadena de recepción consta de los siguientes elementos: Un downconverter y la unidad de switch y el sistema redundante de amplificadores de bajo ruido (Redundant Low Noise Amplifier System) estos son mostrados en la figura 3.24 y se describen a continuación.

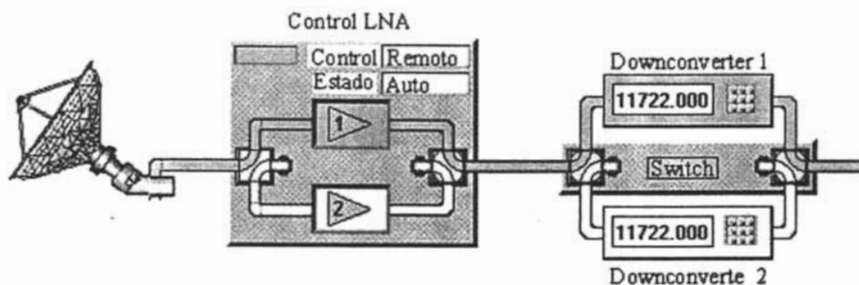


Figura 3.24. Componentes básicos de la cadena de recepción.<sup>9</sup>

### DOWNCONVERTER

El Downconverter es el responsable de transformar de banda 11.7-12.2 GHz a frecuencia de banda FI de los 70MHz.  $\pm$  18 MHz (o  $140 \pm 36$  MHz) de salida.

La señal alimenta al oscilador con un filtro que rechaza todas las señales que este fuera de la banda de la frecuencia programada. La señal de 11.7-12.2 GHz se convierte y se mezcla a la frecuencia IF a través de un oscilador local. La salida del primer mezclador alimenta el módulo del downconverter. En el módulo del downconverter el amplificador de bajo ruido es seguido por un filtro que rechaza las señales que están fuera de banda, resultado de la primera conversión la señal es filtrada, y es mandada a la salida del modulo del convertidor.

### Características técnicas del equipo<sup>10</sup>

A).- Ganancia, Frecuencia de respuesta

<sup>9</sup> Imágenes y datos técnicos cortesía de CONTEL Iztapalapa.

<sup>10</sup> Imágenes y datos técnicos cortesía de CONTEL Iztapalapa.



1. Frecuencia de la entrada: 11.7-12.2 GHz
  2. Frecuencia de salida: 70 ±20 MHz  
140 ±40 MHz (Opcional)
  3. Ganancia: 45 dB nominal
  4. Amplitud de respuesta:
    - a. 70 MHz IF: ±20 MHz a 0.5 dB  
±18 MHz a 0.4 dB
    - b. 140 MHz IF (Opción): 76 MHz a 0.75 dB
  5. Ganancia de ajuste: 30 dB
  6. Ganancia de ajuste graduable: 0.2 dB
- B).- Para el grupo de IF de 70MHz (± 18 MHz)
1. Standard
    - a. Lineal: 0.03 ns/MHz
    - b. Parabólico: 0.01 ns/MHz<sup>2</sup>
    - c. Longitud de onda: 1 ns de cresta-a-cresta
- C).- Para el grupo de IF de 140MHz (± 36 MHz)
1. Standard
    - a. Lineal: 0.025 ns/MHz
    - b. Parabólico: 0.0035 ns/MHz<sup>2</sup>
    - c. Longitud de onda: 1 ns de cresta-a-cresta
- D).- Perdida de Retorno
2. Entrada: 20dB/50 Ohms
  1. Salida:
    - a. 70 MHz IF: 26 dB/75 ohms  
(50 ohms opcional)
    - b. 140 MHz IF (Opcional): 20 dB/75 ohms  
(50 ohms opcional)
- E).- Intermodulación de tercer orden: Para señales de dos bandas el nivel de salida es de -10 dBm, produciendo una intermodulación, 60 dBc como mínimo.



F).- Figura de Ruido:	12 dB máximo
G).- Imagen de Rechazo:	80 dB máximo
H).- Spurious	
1. Dependiente:	-60 dBc
2. Independiente:	-75 dBm dentro de banda.
I).- Selector de frecuencia graduable:	125 kHz
J).- Alimentación Primaria:	Selección en el tablero trasero (100, 120, 220, 230/240VAC)
K).- Frecuencia Interna de estabilidad 5 MHz de Referencia	
1. Standard:	0° a +50°C 5 x 10 <sup>-9</sup> /día, Temperatura Fija

#### UNIDAD DE REDUNDANCIA DE LOS AMPLIFICADORES

La siguiente es una descripción general del Amplificador de Redundancia. La unidad del Amplificador de Redundancia contiene todos los componentes de RF y se muestra en la figura 3.27 vista frontal y figura 3.28 vista trasera.

El Sistema de Amplificador de Ruido Bajo y redundancia consiste en una Unidad de Amplificación/Switcheo y Redundancia (RAU), y la Unidad de Control Local (LCL). La Unidad de Control Local está equipada con redundancia total en suministro de energía. Están diseñados para poder reparar las fallas y/o dar el mantenimiento rutinario sin realizar interrupción de la señal transmitida.

La Unidad de Amplificación y Redundancia consiste en dos amplificadores, uno en línea (la Unidad A) y el segundo en un modo Standby (la Unidad B). Si hay una falla en la unidad A basta un comando de control por parte del operador para pasar a la unidad de reserva B sin ser necesario cambiar físicamente la ruta de transmisión.



Los siguientes conectores se encuentran en la unidad del Amplificador y Redundancia (RAU):

- Entrada de RF, J1
- Salida de RF, J2
- Entrada de RF en standby, J4
- Salida de RF en standby, J5
- Interfaz local de control, J3

La Unidad de Control Local proporciona la alimentación y monitorea las operaciones de la Unidad de Amplificación y Redundancia. También controla la posición del Switch de transferencia A/B de la Unidad de Amplificación y Redundancia.

#### Características del equipo.<sup>11</sup>

A. Frecuencia:	11.70-12.20 GHz
B. Ganancia:	50 dB mínimo
C. Ganancia de amplitud:	1 dB pico a pico
D. Ganancia gradual:	0.2 dB/10 MHz
E. Perdidas por entradas:	19 dB mínimo
F. Perdidas por salidas:	20 dB mínimo
G. Temperatura de Ruido:	65°K máximo a +23°C ambiente
H. AM/PM Conversión:	0.5°/dB máximo a 0 dBm de salida mínima.

<sup>11</sup> Imágenes y datos técnicos cortesía de CONTEL Iztapalapa.

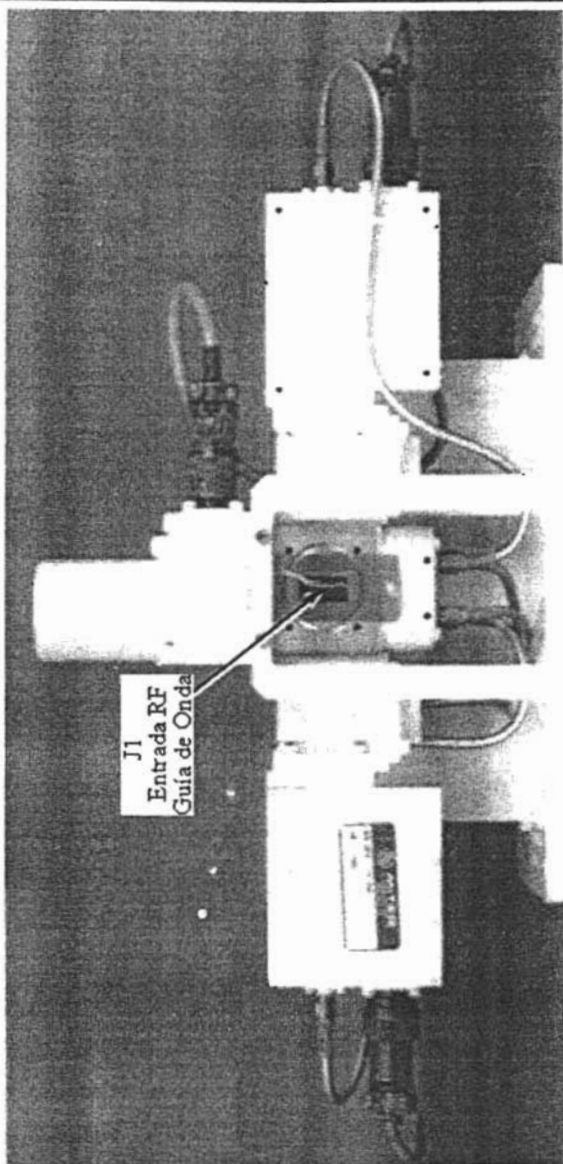


Figura 3.27. Vista frontal de la unidad de amplificación y redundancia.



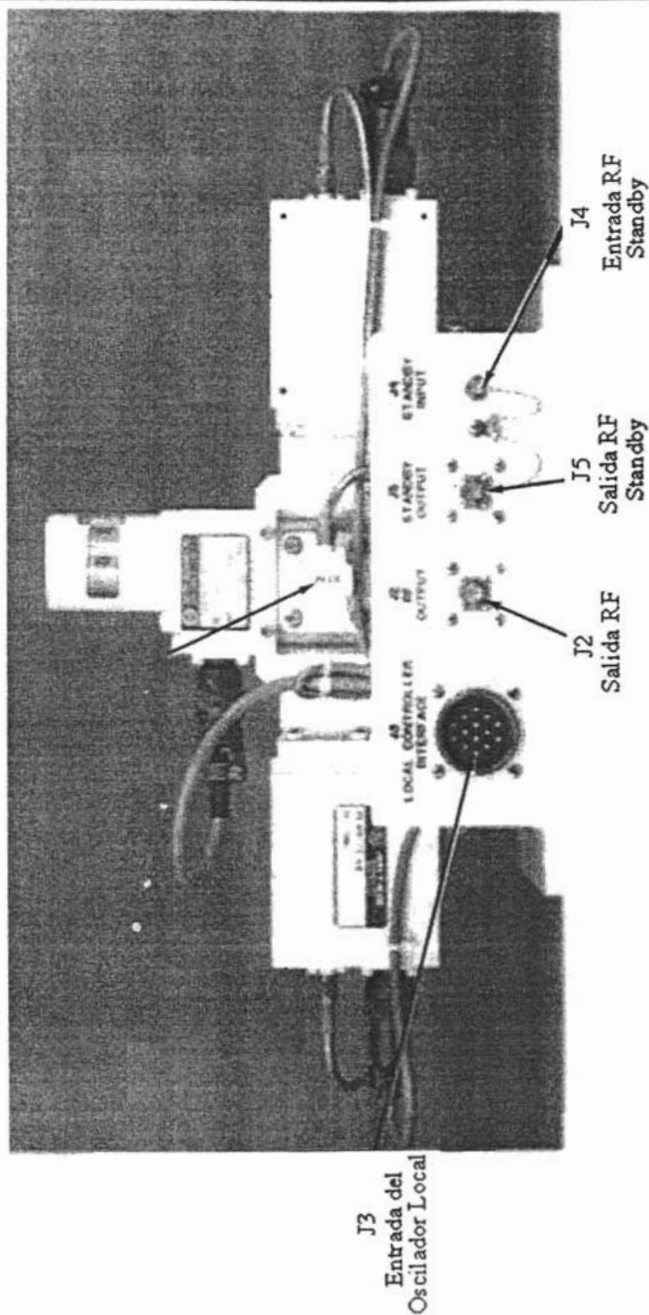


Figura 3.28. Vista trasera de la unidad de amplificación y redundancia.



### 3.2.7 TELMINALES DIALAWAY (VSAT)

Las VSAT son terminales satelitales diseñados para banda Ku y constan de dos componentes básicos el IDU y el ODU estos se muestran en la figura 3.29 y a continuación se describirán más a detalle.

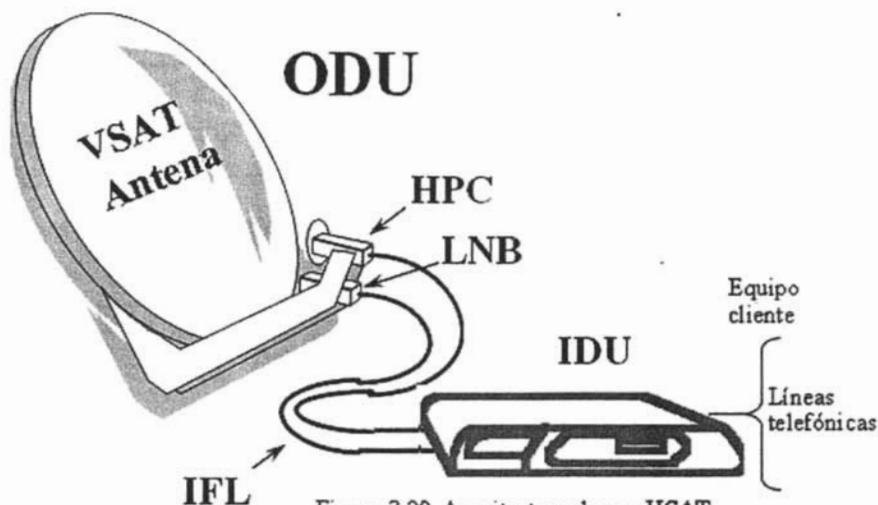


Figura 3.29. Arquitectura de una VSAT.

#### UNIDAD DE PROCESAMIENTO EXTERNO (ODU).

La unidad de procesamiento externo se compone de los siguientes componentes:

1. Antena.
2. Up converter y amplificador de poder para transmitir señal (HPC).
3. Low Noise Block (LNB) para la recepción de señal.
4. Orthomode Transducer (OMT) para conectar el transmisor y LNB.
5. Dos cables usados para la transmisión y recepción, el cable usado para banda L es RG-6.

#### Antena

Es una antena tipo Off-Set y es uno de los principales componentes del ODU ya que será la encargada de recibir y transmitir las señales de RF, esta se muestra en la figura 3.30 y se mencionan algunas características.



- Componente standard de acuerdo a las especificaciones del sistema.
- El tamaño de la antena depende de muchos factores entre ellos localización geográfica, banda a usar y velocidad de transmisión.
- Antena mas común utilizada en Ku es de 0.9 a 1.8 metros.

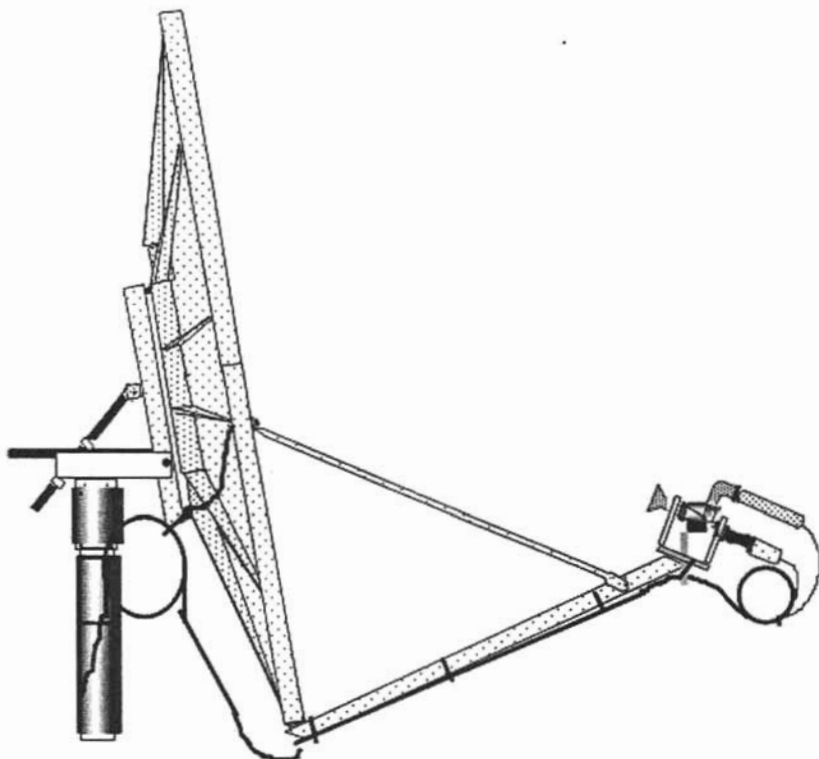


Figura 3.30. Vista lateral de una antena completa (ODU).

#### HPC (High Power Amplifier) Up Converter y Amplificador de Poder

El HPC será el responsable de recoger la información del IDO, amplificar y enviar al satélite. Este se muestra en la figura 3.31 y a continuación se mencionan algunas características y funciones.

- Se encuentran en diferentes opciones y están disponibles dependiendo la frecuencia a ser usada y la potencia requerida dependiendo de las regulaciones locales.



- La entrada del Upconverter es en banda L (950 Mhz a 1450 Mhz) por medio de un cable coaxial de 75 Ohms que viene del IDU.
- Esta señal es convertida a banda Ku, amplificada y enviada por la antena por el OMT.

### Convertidor de bajo ruido (Low Noise Block Converter LNB)

EL LNB es el encargado de recibir la señal proveniente del satélite amplificar y convertirla en banda L, a continuación se mencionan algunas características y funciones. En la figura 3.31 se puede observar la función del LNB dentro del polarizador.

- Convierte señales de Banda Ku, a señal en banda L (alrededor de los 0.95 a 1.45 GHz).
- La señal en Banda L es transmitida a la VSAT por medio de un Cable Coaxial de 75 Ohms.

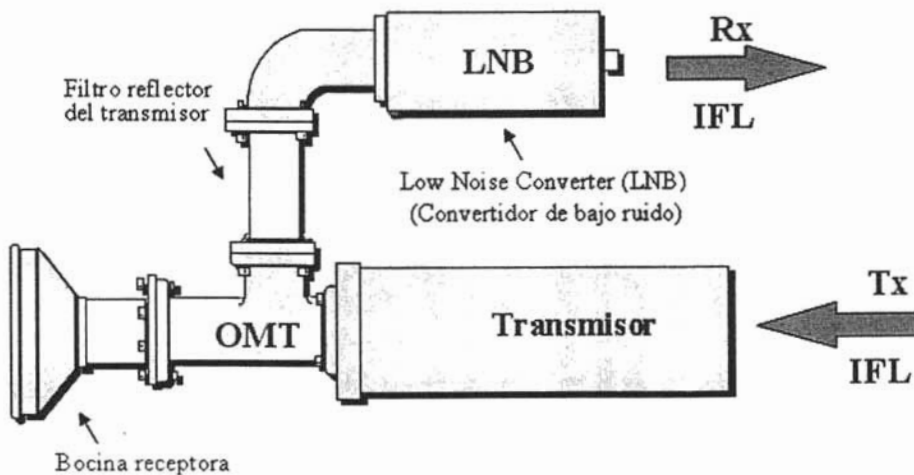


Figura 3.31. Vista lateral del LNB, HPC y OMT. (ODU)

### Orthomode Transducer (OMT)

El OMT (filtro) es el responsable de separar la señales de recepción, este se presenta en la figura 3.31 y se mencionan algunas características.



- Separa la señal transmitida de la recibida tomando ventaja de la polarización y frecuencias.
- Un filtro de rechazo de transmisión.

### UNIDAD DE PROCESAMIENTO INTERNO (Indoor unit (IDU) VSAT)

La unidad de procesamiento interno es la responsable de recibir las señales del satélite y transformarlas a voz o datos según sea el caso, también es la responsable de la comunicación con el HUB. En la figura 3.32 se muestra un diagrama de bloques del IDU

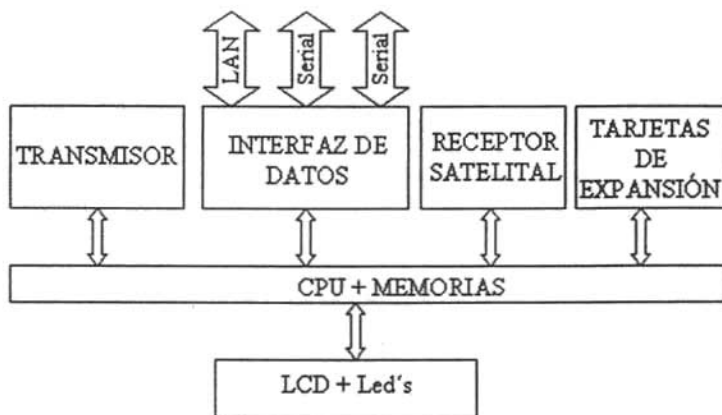


Figura 3.32. Diagrama de bloques del IDU.

El IDU esta lógicamente dividida en:

- Procesador de protocolo remoto (RPP) que provee el protocolo de interfase con el equipo del cliente.
- Configurado para 3 tarjetas de interfase telefónico dependiendo de los requerimientos del cliente.
- Procesador Satelital Remoto (RSP) que provee el módem satelital y las funciones de corrección de error para transmisión de y para el Hub.
- Lógicamente conectados al HSP vía enlace LAPU.



# CAPÍTULO IV

## OPERACIÓN DE LA RED SATELITAL Y APLICACIONES.



Las redes VSAT son fáciles de operar ya que cuentan con una configuración Multistar en donde hay un control centralizado; la red, al considerarse una LAN se puede administrar de mejor manera al agregar funciones y hardware. Después de instalar todos los componentes del hardware en el HUB y las conexiones de la NMS a los HSP vía LAN, deberá configurarse la red con los siguientes componentes:

- Agregar los HSP y configurar los parámetros tales como RF y LAPU.
- Agregar y configurar los Receiver Cage.
- Agregar y configurar los moduladores.
- Exportar las configuraciones de los HSP del NMS a los HSP.
- Crear las plantillas de las VSAT
- Definir la numeración y tablas de facturación.

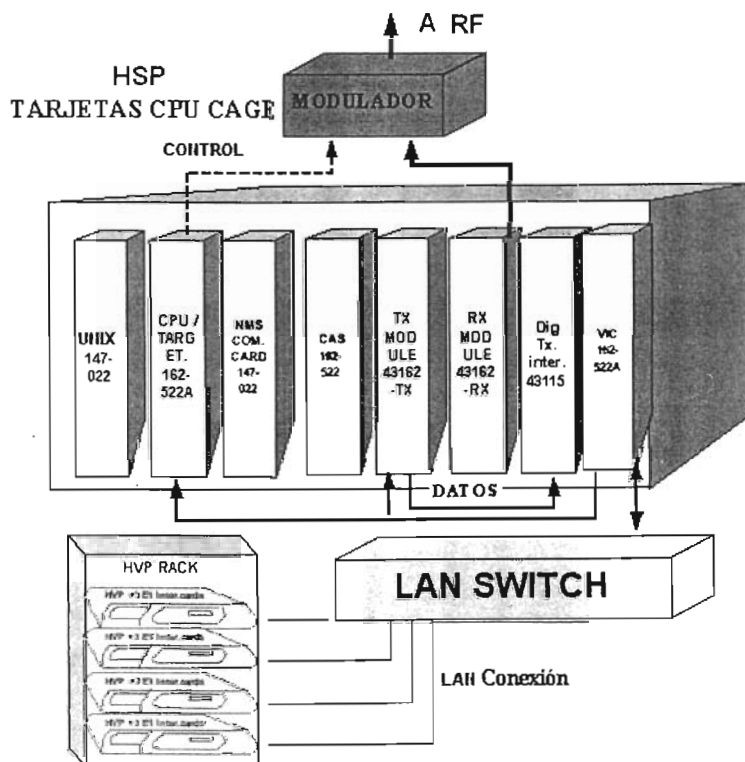


Figura 4.1 Transmisión del Outbound



#### 4.1 Outbound (Uplink-enlace de subida).

El Outbound será nuestra portadora o el carrier, donde viaja el tráfico telefónico el cual es transmitido de la antena maestra hacia el satélite, la figura 4.1 muestra la ruta del Outbound dentro de la red hacia la VSAT. La portadora se genera en una frecuencia fija por cada HSP de la red. El ancho de banda requerido varía de acuerdo a la configuración y capacidad requerida por el sistema. En la actualidad la red DialAway es de 380kHz por cada HSP trabaja bajo modulación QPSK y tiene una velocidad de 256 kbps.

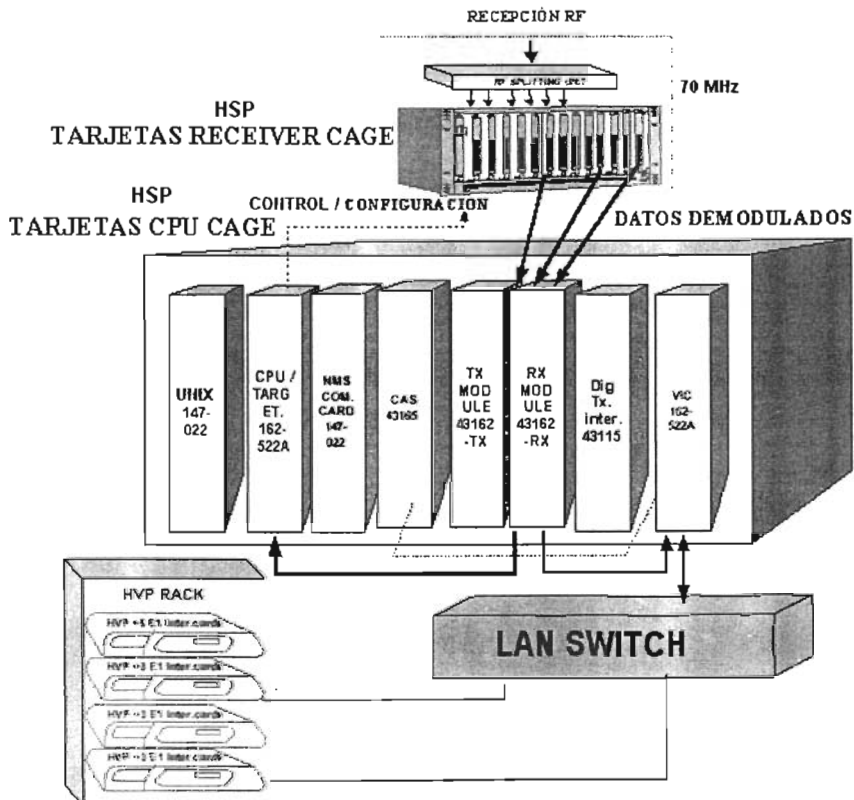


Figura 4.2 Recepción del Inbound

#### 4.2 Inbound (Downlink-enlace de bajada).

El Inbound serán las portadoras de respuesta del HUB y hacia el HUB. La figura 4.2 muestra la ruta del Inbound dentro de la red. El Inbound se divide en:





- Portadoras “DA” Dedicated Access (acceso dedicado).
- Portadoras “RA” Random Access (acceso aleatorio).

#### 4.2.1 Dedicated Access “DA”.

Los DA son portadoras de acceso dedicado las cuales según su configuración estarán divididas en “n” time slot (ranuras de tiempo), las frecuencias son asignadas por la tarjeta CAS, son moduladas en TDMA y serán las responsables de transmitir la voz de las VSAT, su ancho de banda será de acuerdo a las necesidades de la red para la red Dialaway su ancho de banda será de 72 kHz y están disponibles 15 portadoras por cada HSP su velocidad es de 38.4 kbps.

#### 4.2.2 Random Access “RA”.

Los RA son portadoras de acceso aleatorio, estas son generadas por las VSAT en una frecuencia aleatoria, pero son restringidas por un ancho de banda asignado. Estas portadoras son principalmente de comunicación entre las VSAT y el HUB, ya que las VSAT generan la ráfaga para el HUB. Estas portadoras trabajan bajo DAMA (Acceso por demanda), el ancho de banda será de acuerdo a las necesidades de la red. Para la red Dialaway será de 60 kHz y están disponibles solo 3 portadoras con una velocidad de 38.4 kbps.

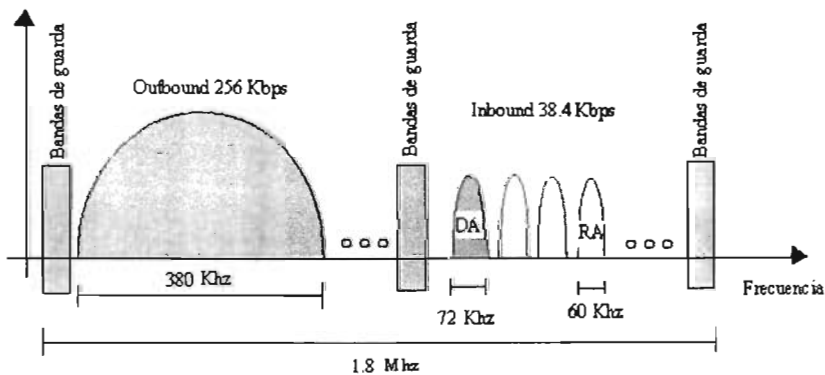


Figura 4.3. Requerimientos de ancho de banda por cada HSP.



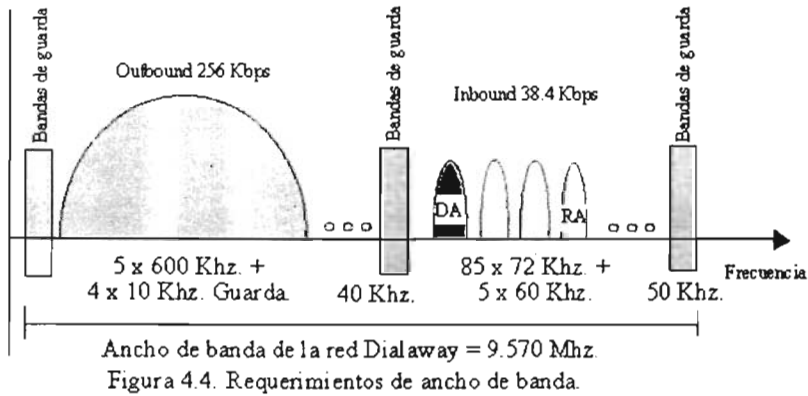
En la figura 4.3 se muestran los requerimientos de ancho de banda por cada HSP con sus respectivas bandas de guarda. Esta planeación de frecuencia se usa para optimizar el espectro disponible.

#### 4.3 CONFIGURACIÓN DEL INBOUND Y OUTBOUND

La configuración del Outbound e Inbound se generan a través de un estudio de los requerimientos de la red. A continuación se presenta un plan de tráfico para una red de 600 estaciones (esta varía de acuerdo a la configuración y capacidad requerida por el sistema y se presenta únicamente como ejemplo). En la figura 4.4 se muestra la grafica de requerimiento de ancho de banda para dicho ejemplo.

- Se requiere de:
  - o 5 portadoras salientes salientes de 384 kbps.
  - o 85 portadoras entrantes dedicadas (DA) de 38.4 kbps.
  - o 5 portadoras entrantes de Acceso aleatorio (RA) de 38.4 kbps.
  - o Guarda entre las portadoras salientes y entrantes.

OB velocidad (kbps)	384
# DA canales	85
# RA canales	5
# OB canales	5
IB BW (MHz)	6.505
OB BW (MHz)	3.065
Total BW (MHz)	9.570



#### 4.4 CONFIGURACIÓN E INSTALACIÓN DE LAS VSAT

- Para configurar las VSAT primero se dan de alta en el sistema a través del Browser con ayuda de las Templates (plantillas), en la figura 4.5 se muestra una plantilla del Browser que nos servirá para configurar las VSAT.

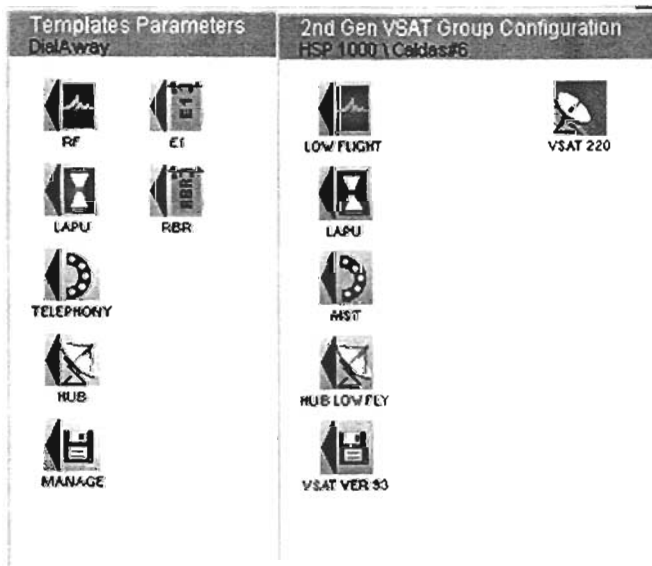


Figura 4.5. Plantillas en el Browser



En estas plantillas se deberá configurar con las siguientes características:

- Nombre.
- Localidad.
- Ubicación (latitud y longitud).
- Número telefónico.
- HSP al que pertenece.
- Tipo de VSAT.

#### 4.4.1 CONFIGURADO DEL IDU (VSAT)

La forma de configurar IDU es la siguiente: para programarla necesitaremos una PC, PALM, etc. La forma de conectarla se muestra en la figura 4.6. Dicho interfase debe tener las siguientes características:

Parámetros de configuración

Bits por segundo	9600
Datos por bits	8
Paridad	Ninguno
Bits de paro	1
Control de flujo	Ninguno

Parámetros de software:

- Se conecta una computadora al puerto serial #1 de la VSAT con un cable RS-232 (cable de modem).
- Se necesita cualquier programa de comunicaciones para poder entrar a la configuración (hyperterminal, procomm plus, etc) con la siguiente configuración 9600, 8, n, 1.
- Con la VSAT apagada se levanta el dipswitch 1 y 8.
- Se alimenta la VSAT para poder ingresar los parámetros de programación.
- Frecuencias, número y/o nombre del sitio, etc.

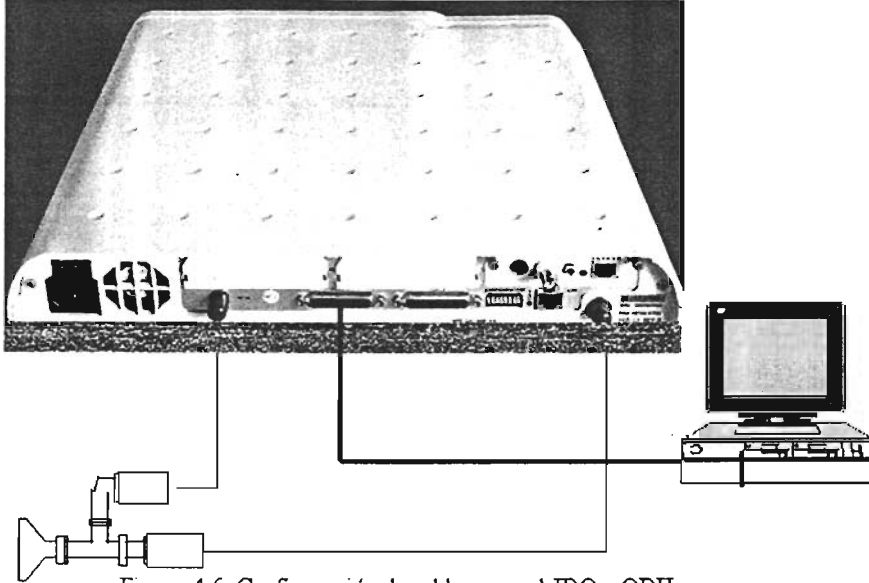
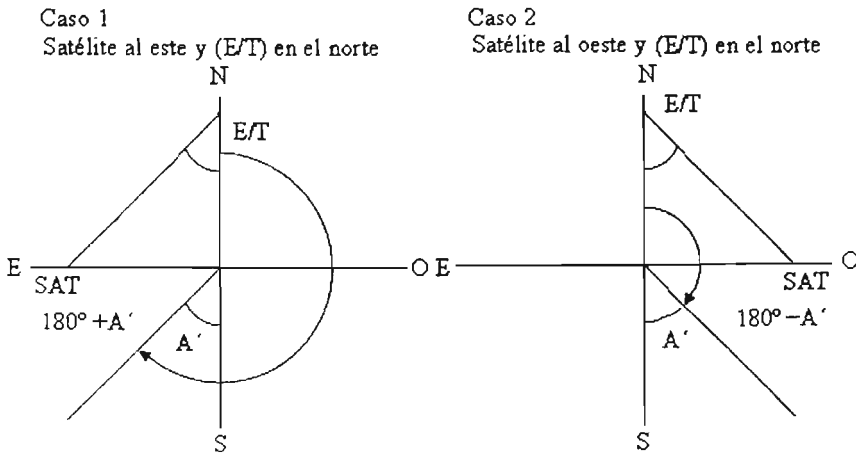


Figura 4.6. Configuración de cables para el IDO y ODU.

#### 4.4.2 INSTALACIÓN DE ODU.

El lugar para instalar la antena debe de ser un lugar con línea de vista de preferencia, ya sea en espacios abiertos, azoteas, postes, recordando y tomando en cuenta que se requiere de mantenimiento y es mejor un lugar accesible y sin obstrucción.



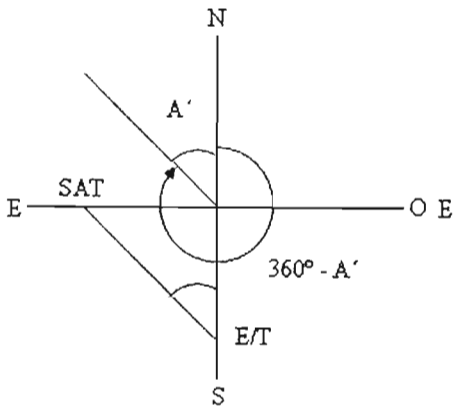


La antena es tipo Off-Set (con el foco desfasado) tiene una mayor recepción y mas flexible a los obstáculos. La base en una plancha de concreto, en la cual se fija el poste para poder montar la antena (plato receptor y los tirantes que sujetaran el polarizador).

Posteriormente se hacen los cálculos de azimut, elevación ubicando nuestra posición tomando como referencia los casos 1 al 4.

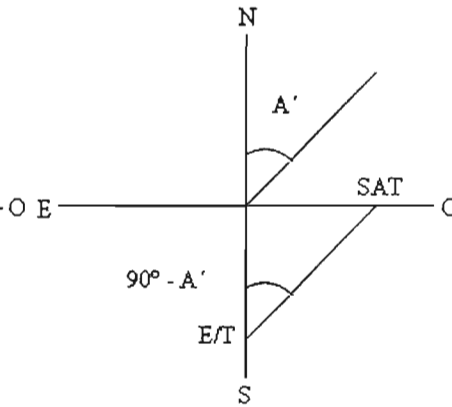
Caso 3

Satélite al este y (E/T) en el sur



Caso 4

Satélite al oeste y (E/T) en el sur



Una vez identificado el caso en el que nos encontramos, que para el caso de México es el caso I y mediante la formula:

**Azimut.**

$$A' = \text{Tan}^{-1} (\text{Tan}[\text{ABS}(\text{LONG}_{\text{SAT}} - \text{LONG}_{\text{E/T}})] / \text{Sen LAT}_{\text{E/T}})$$

Donde:

$\text{LONG}_{\text{SAT}}$  = Longitud del satélite.

$\text{LONG}_{\text{E/T}}$  = Longitud de E/T.

$\text{LAT}_{\text{E/T}}$  = Latitud de E/T.

$\text{ABS}$  = Valor absoluto.



y según el caso I : Azimut =  $180^\circ + A'$  ; además de restarle la declinación magnética según el sitio de E/T.

### **Elevación.**

La elevación se calcula con la siguiente formula:

$$E = \tan^{-1} \left[ \frac{(R - R_e \cos(w))}{(R_e \sin(w))} \right] - \cos^{-1} w$$

Donde:        R = Distancia promedio del centro de la tierra a la orbita  
                  Geoestacionaria (42164.2 Km)  
                  R<sub>e</sub> = Radio promedio de la tierra (6378.155 Km)  
                  w =  $\cos \text{LAT}_{ET} (\cos [\text{LONG}_{SAT} - \text{LONG}_{ET}])$

Tomando en cuenta el tipo de antena utilizado tipo Off-set (foco desfasado), al resultado se le restara  $22.6^\circ$ . Se procederá a orientar la antena, en azimut con ayuda de la brújula y la elevación con el inclinómetro. El polarizador se gira a  $45^\circ$  del lado derecho o a la izquierda según su polarización que se este usando.

Instalada la antena y todos sus componentes se conecta el cable Rx del IDU al LNB, se alimenta y se enciende el IDU; se encenderá el LED de power y hasta que el LED Rx encienda indicara que ya hemos encontrado las señales generadas por el HUB. Una referencia es observar el BER de la VSAT cuando llegue a  $1 \times 10^{-8}$  aseguramos estar viendo al HUB aquí es cuando se conecta el cable del IDU Tx al Upconverter, en ese momento el LED ON LINE enciende indicando que el enlace esta establecido.

### **4.5 AISLAMIENTOS**

El aislamiento es el proceso en el que se obtiene la mayor potencia de la señal del satélite. Después de lograr establecer el enlace y de que el HUB reconozca la VSAT se procede con el aislamiento. Este se muestra en la figura 4.7a. y 4.7b

El aislamiento se logra en conjunto del técnico y el operador del HUB de la siguiente manera:

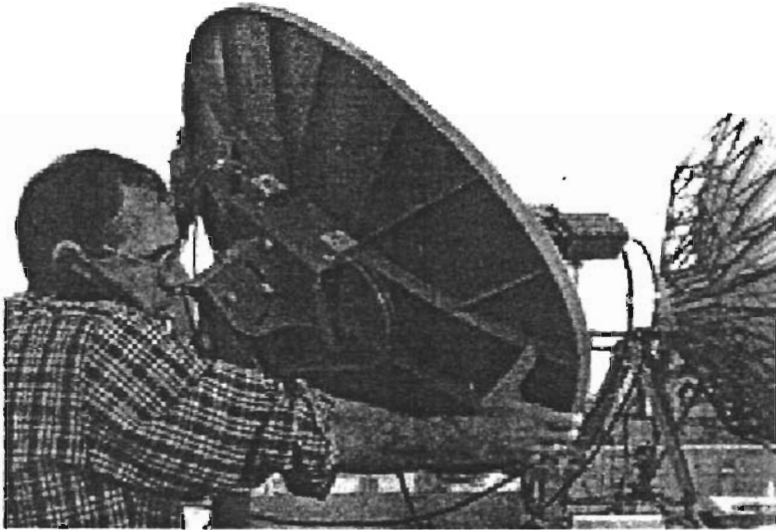


Figura 4.7 (a) Técnico en campo.



Figura 4.8 (b) Operador en el HUB.





El operador levanta una portadora limpia en una frecuencia específica, la localiza en un analizador de espectro observando las dos polaridades, las cuales llamaremos:

- Directa (a la señal en la polaridad de bajada H ò V.
- Inducción (a la polaridad contraria de la usada).

Al resultado en dB de la resta de la directa con la inducción le llamaremos *aislamiento*. Para el caso de la red DialAway el aislamiento deberá de ser entre 30dB y 35dB. Este aislamiento será autorizado por algún proveedor de servicios satelitales para este caso será SATMEX.

En caso de no estar en el rango mínimo del aislamiento autorizado, el técnico con el apoyo del operador del HUB realizaran movimientos en azimut, elevación y polarización tantas veces y combinaciones sean necesarios para lograr estar dentro del rango permitido hasta obtener la autorización del proveedor.

#### **4.6 PROCESO Y RUTA DE LAS LLAMADAS.**

##### **4.6.1 VSAT a VSAT:**

Quando se descuelga el auricular de una VSAT; esta genera una ráfaga a través de un RA hacia el HUB, por medio del satélite, el equipo de RF capta la señal y la envía al Power Splitter; este las separa les da una ganancia para que el Receiver Cage la demodule. El Receiver Cage envía la información por cables seriales (norma RS422) hacia la CAS que asigna recurso. La VIC informa a la Tx por medio de la Target para enviar la señal al modulador e informar así a las VSAT's por el Outbound la frecuencia y time slot asignadas a cada una, creando así un circuito virtual dedicado. En este proceso las VSAT's generan las DA para hablar y escuchan por el Outbound. En la Targer se genera la telemetría para efectos de facturación y la VIC monitorea la llamada, una vez terminada la llamada la VIC informa a la CAS para liberar los recursos, este proceso se muestra en la figura 4.8.

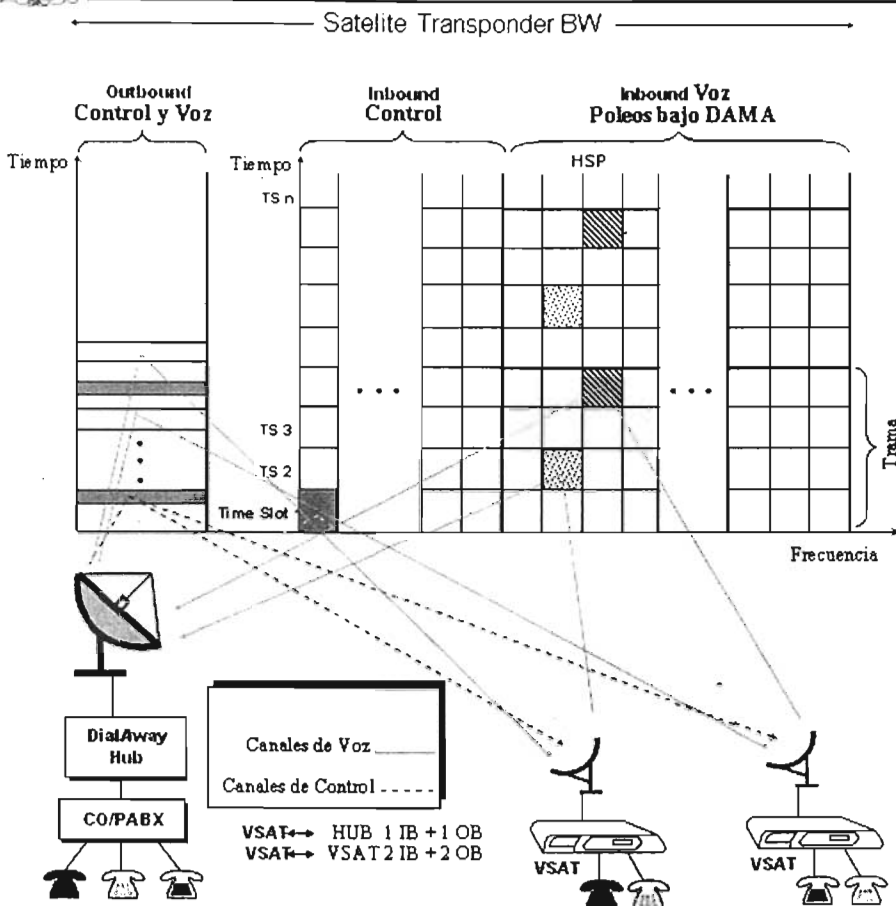


Figura 4.8 Esquema de acceso

#### 4.6.2 VSAT a PSTN:

Al descolgar el auricular de una VSAT; esta genera una ráfaga a través de un RA hacia el HUB, por medio del satélite, el equipo de RF capta la señal y la envía al Power Splitter este las separa les da una ganancia para que el Receiver Cage la demodule. El Receiver Cage envía la información por cables seriales (norma RS422) hacia la CAS que asigna recurso. La VIC informa a la Tx por medio de la Target para enviar la señal al modulador e informar así a las VSAT por el Outbound la frecuencia y time slot asignada además la VIC enruta la llamada hacia los HVP's donde la información es enviada a través



de un E1 (circuito digital a 2.08 Mbps) por medio del SIU (Signaling Interface Unit) hacia el switche de enlace a la PSTN. La VIC durante el proceso de la llamada la monitorea para que al término de esta informe a la CAS para liberar los recursos utilizados.

#### 4.6.3 PSTN a VSAT:

El teléfono de la PSTN marca el número (asignado a la red DialAway), la PBX enruta la llamada a el switch de conexión de la red a través de E1. Dentro de la red el SIU convierte la señal para que los HVP's reciban el enlace (E1), estos digitalizan y hacen una compresión la información para enviarlos a la VIC esta pide recursos a la CAS. Una vez asignados la VIC envía la señal a la Target para su proceso y la señal es enviada a la Tx con los parámetros. Una vez en la Tx se va al modulador para que salga por el equipo de RF, esta información llega a la VSAT creando el circuito virtual dicha información contiene la asignación de frecuencia y time slot. Nuevamente la voz de las VSAT es por las DA y escucha la voz de la PSTN por el Outbound.

### **4.7 APLICACIONES**

Con respecto a las aplicaciones en las conexiones tipo VSAT, éstas van a estar limitadas por el ancho de banda que se disponga. Una aplicación es el acceso a Internet en sitios remotos como hoteles en montañas, etc. A nivel comunicaciones corporativas las aplicaciones tradicionales como canales de voz o datos, video comprimido, transmisión de documentos (Fax), correo electrónico, puntos de venta, etc., y otro tipo de comunicaciones inalámbricas terrestres como puede ser las estaciones VSAT como puntos de concentración gateway para estaciones celulares, para comunicaciones rurales o sistemas de distribución de video.

Actualmente la red DialAway tiene capacidad para servicio de datos, principalmente Internet. Solamente se adjunta el HPP (Hub Protocol Processor) que es la unidad encargada del procesamiento de la información e implementar el protocolo UDP para poder direccionar los paquetes hacia la ISP mediante la red Ethernet.



### **Ruta de los datos en la red.**

La VSAT es configurada para datos, esto indica que no es necesaria una previa conexión con el HUB para tener la conexión a Internet. La VSAT manda las peticiones por las RA's que llegan a la Target que enruta los datos a la tarjeta UDP LAN (UDP: Protocolo de Datagrama de Usuario; este será un buffer entre la red y el HPP). Que envía los paquetes hacia el HPP (una interpretación del HPP sería la de un servidor de datos) ya que este se conecta a un router que envía los paquetes hacia el ISP, la figura 4.9 y la figura 4.10 muestran la ruta del Outbound y el Inbound respectivamente con el HPP unidad de procesamiento de datos. Actualmente la red DialAway soporta 30 kbps. pero puede dar hasta 10 Mbps si es requerido.

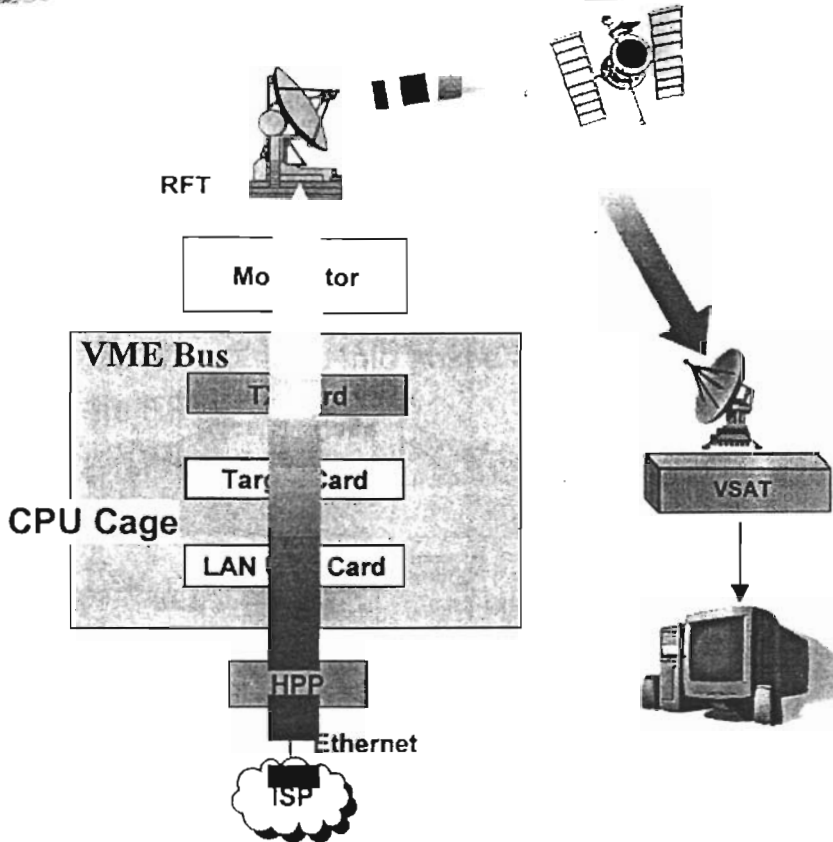


Figura 4.9 Ruta de datos en el Outbound.

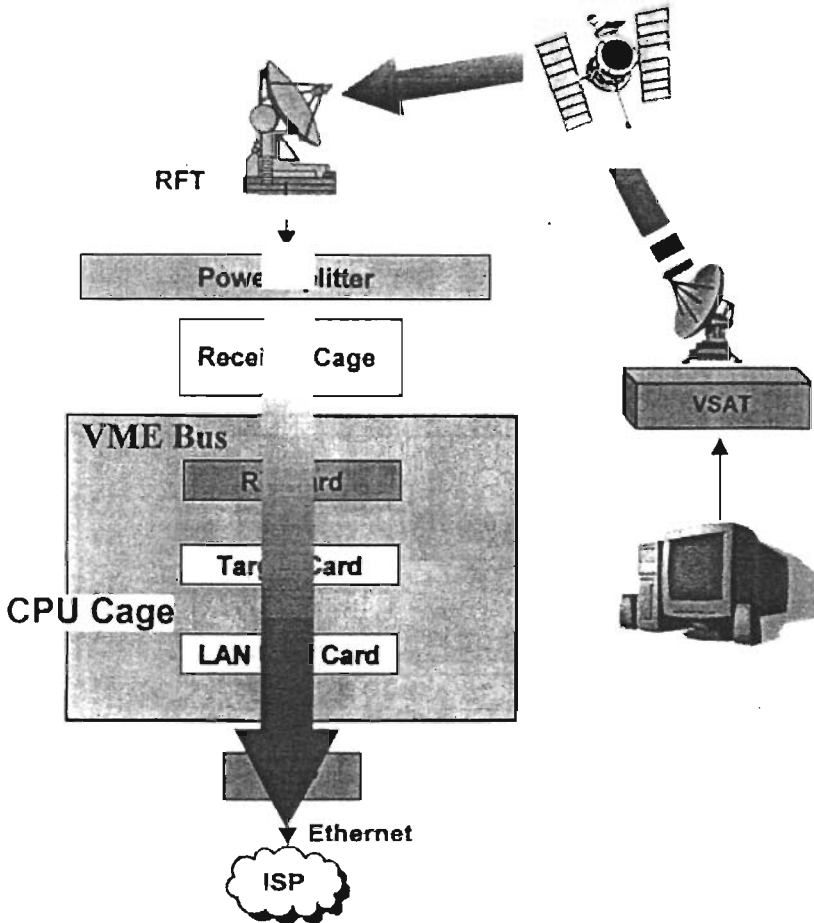


Figura 4.10. Ruta de datos a través del Inbound.



## CONCLUSIONES

Hace pocos años las telecomunicaciones en México estaban en poder del gobierno federal por esa razón no se habían explotado la gama de servicios como los que hoy se encuentran disponibles.

Tras la descentralización de las telecomunicaciones se da un giro total, dando una gran cantidad de servicios inalámbricos principalmente. Como resultado, las nuevas tecnologías llegan al mercado mejorando los servicios.

Uno de estos servicios son las redes satelitales que hasta ahora siguen siendo un recurso sin explotar en todas sus capacidades debido a su poca promoción de estas.

La mayoría de las redes que se encuentran en el mundo son en banda "C", estas requieren de equipos grandes, mantenimientos recurrentes debido al tamaño, línea de vista total y de gran potencia debido a las características con las cuales están diseñadas.

En este trabajo se presenta la evolución de las redes satelitales tanto en su tecnología como en su capacidad y los nuevos enfoques que se le están dando a estas.

Las redes VSAT proporcionan mejoras significativas frente a las actuales como son: la banda "Ku" no se ocupa para las comunicaciones terrestres como en banda "C", el uso de antenas mas pequeñas, el ancho del haz es menos de la mitad del usado en banda "C", menores limitaciones por la FCC para la señal descendente e inmunidad a canales adyacentes.

Por las razones mencionadas las redes VSAT han ganado terreno frente a las actuales, consolidándose como una alternativa real para los usuarios y forzando a los proveedores a mejorar la calidad su de servicio así como los costos.



Actualmente el servicio de voz y datos es el de mayor auge, por lo que los precios son una alternativa real para zonas urbanas y zonas rurales (lugares de difícil acceso y geográficamente inaccesibles), o que simplemente la iniciativa privada no ha cubierto.

También es una alternativa para los países en vías de desarrollo ya que su inversión tanto de instalación como de costos no se compara con la instalación de cobre común.

Por ultimo las redes VSAT son una alternativa real que ha ganando terreno y pronto se consolidara como una opción tan común como las de redes de cobre, microondas o fibra óptica.





## GLOSARIO

### A

**ADC:** Convertidor analógico digital.

**AM:** Amplitud modulada.

**ANCHO DE BANDA:** El ancho de banda de un sistema de comunicaciones es la banda de paso mínima (rango de frecuencias) requerida para propagar la información de la fuente a través del sistema.

**ASK:** Modulación por desplazamiento de amplitud.

**ATM:** Modo de transferencia asíncrona.

**AZIMUT:** Se define como el ángulo de apuntamiento horizontal de una antena, normalmente se mide en una dirección, según las manecillas del reloj, en grados del norte verdadero.

### B

**BER (Rate Error Bit):** tasa de error.

**BSPK:** Modulación por desplazamiento de fase binaria.

### C

**C.A.:** Corriente alterna.

**C/N:** Relación de portadora a ruido.

**CCIR:** Comité Consultivo Internacional de Radio.

**CDMA:** Accesos Múltiple por División de Códigos.

**CDR:** Registro detallado de llamadas.

### D

**DAC:** Convertidor digital analógico.

**dBm:** Decibel referido a un miliwatts.

**DIBIT:** Grupo de dos bit.

**Downlink:** Enlace descendente.

**DialAway:** Fácil marcación.



## E

**E1:** Circuito digital con velocidad de transferencia de 2.048 Mbps.

**EIRP:** Potencia radiada isotropita efectiva.

**ELEVACIÓN:** Es el ángulo formado entre la dirección de viaje de una onda radiada desde una antena de estación terrena y la horizontal, o el ángulo de la antena de la estación terrena entre el satélite y la horizontal.

## F

**FDMA:** Acceso Múltiple por División de Frecuencia.

**FEC:** Seguimiento de corrección de errores.

**FM:** Frecuencia modulada.

**FSK:** Modulación por desplazamiento de frecuencia.

## H

**HPA (High power amplifier):** amplificador de alta potencia.

**HPP (HUB PROTOCOLO PROCESSOR):** Protocolo de procesamiento.

**HSP:** Sistema de procesadores satelitales.

**HUB:** Equipo de banda base.

**HVP (HUB VOICE PROCESSOR):** Sistema de procesamiento de voz.

## I

**IF:** Frecuencia intermedia.

**IMUX:** Multiplexor interno.

**IP:** Protocolo de Internet.

## L

**LAPU:** Protocolo propietario de Gilat Corporation.

**LNB (LOW NOISE BLOCK CONVERTER):** Convertidor de bajo ruido.

**LONGITUD DE ONDA:** Es la distancia entre dos crestas de una onda o señal.



**M**

**MODULACIÓN:** Proceso de transformar información de su forma original a una forma mas adecuada para su transmisión.

**MSB:** Bit mas significativo.

**N**

**NMS:** Sistema de administración de red.

**O**

**OMUX:** Multiplexor de salida.

**P**

**PBX:** Central telefónica privada.

**PCM:** Modulación por pulsos codificados.

**PORTADORA:** Es la señal generada por el modulador y será la encargada de llevar la información ó señal inteligente a su destino.

**PSK:** Modulación por desplazamiento de fase.

**PSTN:** Red telefónica publica conmutada.

**Q**

**QAM:** Modulación de amplitud en cuadratura.

**QPSK:** Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura.

**R**

**RF:** Radio frecuencia.

**RSU:** Unidad de switcheo y redundancia.

**S**

**SEÑAL INTELIGENTE:** es la información ya sea voz, datos e imágenes que se desea transmitir.



**SIU (Signalig Interface Unit):** Unidad de interfaz de señalización.

**SS7:** Sistema de señalización N.7.

### T

**TCP (Protocolo de control de transmisión):** Protocolo de comunicación que permite comunicarse a los ordenadores a través de Internet, asegura la comunicación de forma fiable y segura.

**TRANSPONDER:** Es el equipo del satélite que recibe las señales de subida, las transforma en una frecuencia de bajada y las amplifica para la retransmisión a la tierra.

**TWTA:** Tubo amplificador de alto poder de onda progresiva.

### U

**UDP (protocolo de datagrama de usuario):** Es un protocolo simple que intercambia datagramas sin confirmación ó garantía de entrega.

**UPLINK:** Enlace ascendente.

### V

**VSAT (VERY SMALL APERTURE TERMINAL):** Terminal de apertura muy pequeña



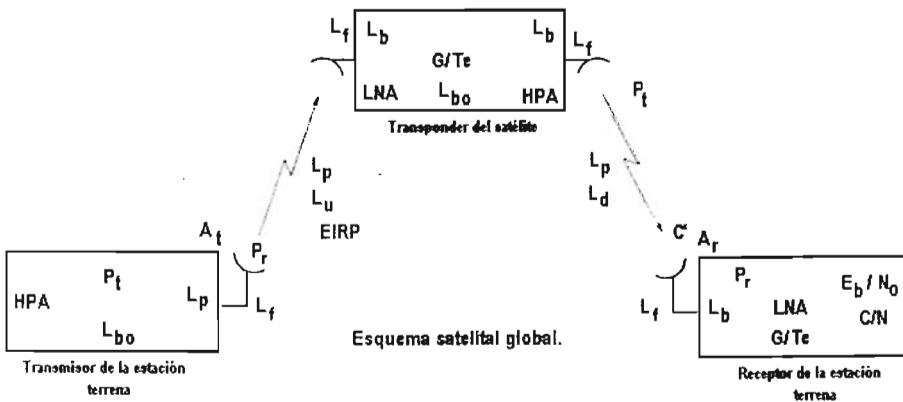
### APÉNDICE.

#### DISEÑO DE CÁLCULO DE ENLACE.

A continuación se muestran los parámetros de un sistema de comunicación satelital típico, en un calculo de enlace se identifica los parámetros del sistema y se usa para determinar las relaciones  $C/N$  y  $E_b/N_o$  en los receptores satelitales y estaciones terrenas para un esquema de modulación específico.

#### ECUACIONES DE ENLACE DEL SISTEMA SATELITAL

El rendimiento de error de un sistema satelital digital es bastante predecible. La figura muestra un diagrama a bloques simplificado de un sistema satelital digital e identifica las diferentes ganancias y pérdidas que pueden afectar el rendimiento del sistema. Cuando se evalúa el rendimiento de un sistema satelital digital, los parámetros de subida y de bajada se consideran, primero por separado, después, el rendimiento general se determina combinándolos de la manera adecuada. Tenga en mente que una microondas digital o radio satelital simplemente significa que las señales de banda base originales y moduladas son digitales por naturaleza. La porción de RF de radio es analógica, es decir, FSK, PSK, QAM o alguna otra modulación de alto nivel en una portadora de microondas analógica.





Esquema satelital global mostrando las ganancias y pérdidas incurridas en las secciones de subida y de bajada.

HPA: Amplificador de alta potencia.

$P_t$ : potencia de salida HPA.

$L_{bo}$ : pérdida por respaldo.

$L_f$ : pérdida del alimentador.

$L_b$ : Pérdida de ramificación.

$A_t$ : Ganancia de la antena transmisora.

$P_r$ : Potencia total radiada =  $P_t - L_{bo} - L_b - L_f$ .

EIPR: Potencia radiada isotrópica efectiva =  $P_r A_t$ .

$L_u$ : Pérdida de subida adicionales debido a la atmósfera.

$L_p$ : Pérdida de trayectoria.

$A_r$ : Ganancia de la antena receptora.

$G/T_e$ : Relación de ganancia a ruido equivalente.

$L_d$ : Pérdida de bajada; adicionales debido a la atmósfera.

$C/N_0$ : Relación de la densidad de portadora a ruido.

$E_b/N_0$ : Relación de la energía de bit a ruido.

$C/N$ : Relación de portadora a ruido.

## ECUACIONES DE ENLACE

Las siguientes ecuaciones de enlace se usan para analizar por separado las secciones de subida y de bajada de un sistema satelital de portadora de frecuencia de radio sencilla. Estas ecuaciones consideran sólo las ganancias y pérdidas ideales, así como los efectos de ruido térmico asociadas con el transmisor de la estación terrena, receptor de la estación terrena y el transponder del satélite.

### Ecuación de subida

$$\frac{C}{N_o} = \frac{A_t P_r (L_p L_u) A_r}{K T_e} = \frac{A_t P_r (L_p L_u)}{K} \times \frac{G}{T_e}$$



en donde  $L_d$  y  $L_u$  son las pérdidas atmosféricas de subida y de bajada adicionales, respectivamente. Las señales de subida y de bajada deben pasar por la atmósfera de la Tierra, en donde son absorbidas parcialmente por la humedad, oxígeno y partículas en el aire. Dependiendo del ángulo de elevación, la distancia que la señal de RF viaja por la atmósfera varía de una estación terrena a otra. Debido a que  $L_p$ ,  $L_u$  y  $L_d$  representan pérdidas, son valores decimales menores a 1.  $G/T_e$ , es la ganancia de la antena receptora más la ganancia del LNA dividida por la temperatura de ruido equivalente de entrada.

Expresada como un logaritmo:

$$\frac{C}{N_o} = \underbrace{10 \log A_r P}_{\text{EIRP - Estación terrena libre}} - \underbrace{20 \log \left( \frac{4\pi D}{\lambda} \right)}_{\text{pérdida de trayectoria de espacio}} + \underbrace{10 \log \frac{G}{T_e}}_{\text{+ satélite } G/T_e} - \underbrace{10 \log L_u - 10 \log K}_{\text{pérdidas atmosféricas de Boltzmann adicionales}}$$

$$= EIRP(dBW) - L_p(dB) + \frac{G}{T_e}(dBK^{-1}) - L_u(dB) - K(dBWK)$$

Ecuación de bajada

$$\frac{C}{N_o} = \frac{A_r P_r (L_p L_u) A_r}{K T_e} = \frac{A_r P_r (L_p L_u)}{K} \times \frac{G}{T_e}$$

Expresada como logaritmo,

$$\frac{C}{N_o} = \underbrace{10 \log A_r P_r}_{\text{EIRP - Estación terrena libre}} - \underbrace{20 \log \left( \frac{4\pi D}{\lambda} \right)}_{\text{pérdida de trayectoria de espacio}} + \underbrace{10 \log \frac{G}{T_e}}_{\text{+ satélite } G/T_e} - \underbrace{10 \log L_u - 10 \log K}_{\text{pérdidas atmosféricas de Boltzmann adicionales}}$$



EIRP - pérdida de + satélite - pérdidas - constante  
Satelite trayectoria de  $G/T_e$  atmos- de  
espacio féricas Boltzmann  
adicionales

$$= EIRP(dBW) - L_p(dB) + \frac{G}{T_e} (dBK^{-1}) - L_d(dB) - K(dBWK)$$





**BIBLIOGRAFÍA.**

**FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES.**

JOSE MANUEL HUIDOBRO.  
EDITORIAL PARAINFO ESPAÑA.

**SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS.**

WAYNE TOMASI.  
SEGUNDA EDICIÓN, EDITORIAL PRENTICE HALL.

**REDES DE COMUNICACIÓN.**

**CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y ARQUITECTURAS BÁSICAS.**

ALBERTO LEÓN-GARCIA.  
INDRA WIDJAJA.  
EDITORIAL MCGRAW-HILL /INTEROAMERICANA.

**PRINCIPIOS DE TEORÍA DE LAS COMUNICACIONES.**

RAÚL IBARRA QUEVEDO.  
MIGUEL SERRANO LÓPEZ.  
EDITORIAL LIMUSA S.A DE C.V.

**INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES.**

FERREL G. STEMLER.  
TERCERA EDICIÓN, EDITORIAL ADDISON WESLEY IBEROAMERICANA.

**PRINCIPIOS DE COMUNICACIONES**

**SISTEMAS, MODULACIÓN Y RUIDO.**

R.E.ZIEMER.  
W.H. TRANDER.  
EDITORIAL TRILLAS.



**DOMINE TCP/IP.**

JOSÉ LUIS RAYA CABRERA.

VICTOR RODRIGO RAYA.

EDITORIAL RA-MA.

**REDES LOCALES.**

JOSÉ LUIS RAYA CABRERA.

VICTOR RODRIGO RAYA.

EDITORIAL RA-MA.

**COMUNICACIONES ANALÓGICAS Y DIGITALES.**

JESÚS MONTESINOS ORTUÑO

EDITORIAL PARANINFO, S.A.

**MANUALES Y PRESENTACIONES DE CONTEL IZTAPALA.**

**MANUALES RED VSAT.**